SCIENCE magazine

SCIENCE magazine

16e année • www.entreprendre.fr

OCÉANS : LA MENACE CLIMATIQUE

Quels impacts ? Jusqu'où vont-ils monter ?

La face cachée des fonds marins

Un enjeu pour la France, 2e domaine maritime au monde

THOMAS PESQUET
Impressions extra-terrestres

CERVEAU
Les techniques de contrôle



CLIMATS
20 nouvelles réserves de biosphère





Lafont presse

N°73 - Trimestriel - Janvier/Février/Mars 2022 - BEL : 6,10€ - BELUX : 6,40€ - ESP/IT/GR/PORT : 6,90€ - MAR : 69 MAD - TUN : 13,20 TND - CAN/S : 10,50$CAD - CAN/A : 10,99$CAD - CH : 10 CHF - DOM/S : 6,90€ - DOM/A : 7,20€ - POL/S : 860 XPF - POL/A : 900 XPF - N.CAL/S : 820 XPF - N.CAL/A : 860 XPF - D : 7,20€

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

PARCE QUE L'ÉVÉNEMENT PEUT SURVENIR À TOUT MOMENT !

L'ÉVÉNEMENT

L'ÉVÉNEMENT MAGAZINE

Z

COMMENT LE SYSTÈME VEUT LE BLOQUER

CPPAP

Trimestriel N° 40 - Janvier/Février/Mars 2022 - BEL : 7,10€

PÉCRESSE

L'événement magazine,
le news de l'info vérité.

ABONNEZ-VOUS L'ÉVÉNEMENT MAGAZINE

Et renvoyez ce bon à *Lafont presse* 53 - rue du Chemin Vert - CS 20056 - 92772 Boulogne-Billancourt Cedex

OUI, je m'abonne à *L'Événement magazine* (papier + numérique) et je le reçois chez moi (10 numéros dont 2 n° gratuits) au prix de 44€ au lieu de 55€

Nom : .... Prénom : ....
Adresse : ....
Code Postal : .... Ville : ....
Télephone : .... Date de naissance : ....
Courriel :

❏ **Je règle par Chèque bancaire ou postal à l'ordre de *Lafont presse***
53 rue du Chemin Vert - CS 20056 - 92772 Boulogne-Billancourt Cedex

par carte Bancaire visa
N° :
expire fin
cryptogramme (les trois derniers chiffres au dos de votre carte)

signature :

Conformément à la loi "informatique et libertés" du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent. Vous pouvez accéder aux informations vous concernant, les rectifier et vous opposer à la transmission éventuelle de vos coordonnées en cochant la case ci-contre ❏ ou en adressant un courrier libre à *Lafont presse* - 53, rue du Chemin vert - CS 20056 - 92772 Boulogne Billancourt.

Abonnez-vous sur www.lafontpresse.fr

Tarif DOM TOM et étranger : + 2€ par revue servie

SCIENCE magazine

Edité par Entreprendre (LAFONT PRESSE)
53 rue du Chemin Vert - CS 20056
92772 Boulogne-Billancourt Cedex
www.lafontpresse.fr - Tél. : 01 46 10 21 21

Directeur de la publication et de la rédaction
Robert Lafont
courriel : robert.lafont@lafontpresse.fr

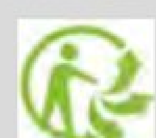
Secrétaire générale des rédactions :
Isabelle Jouanneau - Tél. : 01 46 10 21 21
Isabelle.jouanneau@lafontpresse.fr

Rédaction déléguée :
Sacha Lorens (*sacha.Lorens@free.fr*), Laurence Miglioli
avec Jean-Louis Carrel, Peter Collins, Raphaël Picard,
Jean-François Rosselin, Robert de Roqueserviere, Marie Castellas

• **ADMINISTRATION**
Directeur comptable : Didier Delignou
didier.delignou@lafontpresse.fr
Comptable : Alizée Dufraisse - Tél. : 01 46 10 21 03
alizee.dufraisse@lafontpresse.fr

• **PUBLICITÉ & PARTENARIATS**
Directeur
Éric Roquebert - Tél. : 01.46.10.21.06
eric.roquebert@lafontpresse.fr
Chef de pub : Francis Dominguez
Tél. : 06 98 99 89 32
francis.dominguez@lafontpresse.fr







• **FABRICATION**
Maquette : Delphine Balme
Imprimerie : Rotochampagne (52 - Chaumont)

Communication environnementale
Origine du papier : Allemagne - Taux de fibres recyclées : 100% -
Ce magazine est imprimé sur du papier porteur de l'Ecolabel Européen sous le numéro : DE/011/010 - Eutrophisation : PTot 0.001 Kg/t.

• **DIFFUSION PRESSE**
Isabelle Jouanneau - Tél. : 01 46 10 21 21
Isabelle.jouanneau@lafontpresse.fr

Distribution : MLP - Tondeur (Belgique)

• **ABONNEMENTS**
Hanane Rahmani
abonnement.rahmani@lafontpresse.fr

Crédits photos couverture : ©AbodeStock

Science magazine est édité par Entreprendre S.A au capital de 246 617.28€
RCS NANTERRE 403 216 617 SIRET : 403 216 617 000 23 NAF : 5814Z SA
53 rue du Chemin Vert 92100 Boulogne-Billancourt
Tél. : 01.46.10.21.21 - Fax : 01.46.10.21.22

Toute reproduction, même partielle, des articles et iconographies publiés dans *Science magazine* sans l'accord écrit de la société éditrice est interdite, conformément à la loi du 11 mars 1957 sur la propriété littéraire et artistique. La rédaction ne retourne pas les documents et n'est pas responsable de la perte ou de la détérioration des textes et photos qui lui ont été adressés pour appréciation.

N° de commission paritaire : **0926 T 87424** - N°ISSN : 1777-0173
Dépôt légal à parution.
Avertissement : L'éditeur se réserve la possibilité de republier certaines enquêtes ou reportages des titres Lafont presse.

Sommaire

N°73 - Janvier/Février/Mars 2022

OCÉANS : LA MENACE CLIMATIQUE

Quels impacts ? Jusqu'où vont-ils monter ? P.40

L'ACTUALITÉ DE LA SCIENCE 6

JUSQU'OÙ VONT MONTER LES OCÉANS ? 40
150 millions de réfugiés climatiques dans 30 ans 42
Lorsque l'océan était 130 mètres plus bas.. 44
Qu'a fait l'homme lors des changements climatiques précédents ? 50
Le réchauffement climatique, principal responsable 53
Les côtes vont-elles devenir inhabitables ? 55

CERVEAU : TOUT N'EST-IL QU'ILLUSION ? 58
Il est possible de régénérer les neurones perdus ! 60
Découverte d'un mode de communication inconnu 61
Un phénomène encore bien mystérieux 62
Faut-il avoir confiance dans nos actes ? 63

THOMAS PESQUET : RETOUR EN IMAGES SUR L'ARRIVÉE SUR TERRE 64

L'UNESCO DÉVOILE SES NOUVELLES RÉSERVES DE BIOSPHÈRE 72

LES LIVRES DE LA SCIENCE 80

LE FORUM DES LECTEURS 82

LES MAGAZINES À DÉCOUVRIR Lafont presse

À lire sur lafontpresse.fr

Economie : Entreprendre, Création d'entreprise magazine, Manager & réussir, Placements, C'est votre argent !, Spécial Argent, Business event', Nouvel agriculteur. **People :** Journal de France, Intimité, Intimité Dimanche, Spécial Dernière, Secrets de stars, Spécial People, Paris confidences, Célébrité magazine, Confidences magazine, Dossier enquêtes, Enquêtes magazine, Crimes magazine, Histoires vérité, Souvenirs Souvenirs, Numéro Spécial, Collection, Album, Johnny magazine, Johnny actualité, Reines & Rois, Royauté, Gotha magazine. **Auto :** L'essentiel de l'Auto, Automobile revue, Auto magazine, Pratique Auto, Spécial Auto, Spécial Auto vert, Automobile verte, Auto Souvenir, Youngcars, Tracteurs magazine, Le magazine de l'aviation, L'essentiel du Drone. **Sport :** Le Foot, Le Foot Paris magazine, Le Foot Lyon magazine, Le Foot Marseille, Le Foot magazine, Rugby magazine, France Basket, Handball magazine, Tennis revue, Le Sport, Le Sport Vélo, Cyclisme magazine, Auto sport magazine, Féminin Footing. **Féminin :** Féminin Psycho, L'essentiel de la Psycho, Santé revue, Santé Info, Féminin Santé, Pratique Santé magazine, Dossier santé, Santé revue Seniors, Féminin senior santé, Nutrition magazine, Santé guide, 365 jours femme, Le magazine des femmes, Votre beauté, Journal de France Senior, Journal de France Mode. **Maison-Déco :** Maison Décoration, Maison déco jardin, Maison campagne & jardin, L'essentiel de la Déco, Spécial Déco, Architecture & Décoration, Faire soi-même, Jardiner, Info Jardin, Plaisir du jardin, Potager pratique, Potager bio de saison. **Centres d'intérêts :** Spécial Chats, Spécial Chiens, Féminin pratique, Questions & astuces, Les dossiers pratiques, Stop Arnaques, Pêche magazine, Chasse magazine, France Patrimoine, Spécial France, Spécial Reportages, Spécial Seniors, Féminin Senior, Senior loisirs. **Cuisine :** Cuisine revue, Cuisine magazine. **Information-Culture :** Science magazine, L'essentiel de la Science, La revue de la Science, Science et paranormal, Science du monde, Question de Philo, L'événement magazine, Le journal, Globe, Info Femme, Biographie magazine, Spécial Histoire, Histoire de Versailles, Napoléon magazine, De Gaulle magazine, Le magazine des arts.

INVESTIR EN BOURSE
Entreprendre (Lafont presse), groupe indépendant éditeur de 60 magazines publiés en kiosques, est côté sur Euronext Paris (code ALENR). Participez à son développement.
www.lafontpresse.fr



***Globe* est chez votre marchand de journaux ou sur www.lafontpresse.fr**

Lafont presse TV

ABONNEZ-VOUS

Et renvoyez ce bon dument rempli à *Lafont Presse*
53 rue du Chemin Vert - CS 20056 - 92772 Boulogne-Billancourt Cedex

SCIENCE magazine

OUI, je m'abonne à *Science magazine* (papier + numérique) et je reçois chez moi 10 numéros dont 2 n° gratuits au prix de 47€ au lieu de 59€

Nom : .... Prénom : ....
Adresse : ....
Code Postal : .... Ville : ....
Téléphone : .... Date de naissance : ....
Courriel : |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

❑ Je règle par Chèque bancaire ou postal à l'ordre de Lafont presse
53 rue du Chemin Vert - CS 20056 - 92772 Boulogne-Billancourt Cedex

par carte Bancaire visa
N° : |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_|
expire fin |_|_|_|_|_|_|_|_|
cryptogramme (les trois derniers chiffres au dos de votre carte) |_|_|_|

signature :

Abonnez-vous sur www.lafontpresse.fr

Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent. Vous pouvez accéder aux informations vous concernant, les rectifier et vous opposer à la transmission éventuelle de vos coordonnées en cochant la case ci-contre ❑ ou en adressant un courrier libre à Lafont presse , 53, rue du Chemin vert, 92100 Boulogne Billancourt.

Tarif DOM TOM et étranger : + 2 € par revue servie

Faites réussir votre entreprise

Entreprendre

ARNAULT/BOLLORÉ
QUI VA RACHETER LE FIGARO ?

HECTAR
LE PROJET DE NIEL

AGUASMART
DE L'EAU POUR L'AFRIQUE

GROUPE REVUE FIDUCIAIRE
START-UP DE 100 ANS

ARGENT
INVESTIR SUR LES CRYPTOS

MACRON/ZEMMOUR : l'impossible duel

Actuellement en kiosques ou sur abo : www.lafontpresse.fr

Pionnier de la presse économique et d'entreprises, depuis 1984, le magazine de référence des entrepreneurs, fondé par Robert Lafont, est devenu la bible du business en France. Un magazine sans équivalent. Faites abonner votre entreprise. *(déductible des dépenses de formation).*

Plus de 40% de réduction

ABONNEZ-VOUS DIRECT SUR LAFONTPRESSE.FR

DEVENIR ACTIONNAIRE D'ENTREPRENDRE ?
Entreprendre (*Lafont presse*), groupe indépendant éditeur de 60 magazines publiés en kiosques, est côté sur *Euronext Paris* (code ALENR). Participez à son développement.

LES 4 VERITES DE LA REUSSITE

AVEC VOTRE ABONNEMENT, recevez en cadeau *"LES 4 VÉRITÉS DE LA RÉUSSITE"*, le best-seller de Robert Lafont

BON D'ABONNEMENT Entreprendre

À compléter et à renvoyer accompagné de votre règlement à Lafont presse, 53 rue du Chemin Vert - CS 20056 - 92772 Boulogne-Billancourt Cedex

❑ **Oui, je m'abonne à *Entreprendre*** : 12 n° pour **58 €** (au lieu de 69 €, pour un abo d'un an), et 24 n° pour **116 €** (au lieu de 139 €) et **je reçois en cadeau le livre de Robert Lafont : *Les 4 vérités de la réussite* + une PA gracieuse.**
❑ **Je m'abonne à *Manager & réussir*** : 10 n° pour **71 €** ❑ **Je m'abonne à *Création d'entreprise magazine*** : 10 n° pour **78 €**
❑ **Je m'abonne à *L'événement magazine*** : 10 n° pour **44 €** ❑ **Je m'abonne à *C'est votre argent*** : 10 n° pour **39 €**

Total commande : ....€
Déductible des dépenses de formation.
Ci-joint mon règlement à l'ordre de *Lafont presse* par :

Nom .... Prénom .... Âge ....
Adresse .... Activité : ....
Code postal .... Ville ....
Téléphone .... Date de naissance ....
Courriel

❑ Chèque bancaire ou postal
❑ Carte bleue Visa N° Expire-le :
IMPORTANT, je note les 3 derniers chiffres du numéro inscrit au dos de ma carte bancaire :

Date et signature obligatoires :

Tarifs DOM-TOM étranger : + 2 € par numéro servi

Imprimé en France

Lafont presse
www.lafontpresse.fr

Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent. Vous pouvez accéder aux informations vous concernant, les rectifier et vous opposer à la transmission éventuelle de vos coordonnées en cochant la case ci-contre ❑ ou en adressant un courrier libre à Lafont presse – 53, rue du Chemin vert, 92 100 Boulogne Billancourt.



Quelles terres vont être englouties ?

À quelle vitesse va s'effectuer l'élévation du niveau des mers ? Quels sont les processus responsables ? La Terre n'a-t-elle pas déjà connu des événements comparables ?

Depuis la dernière glaciation, il y a 20 à 25 000 ans, le niveau de la mer s'est élevé de 120 à 130 mètres, engloutissant les côtes sur des kilomètres de large. Car à cette époque, des calottes polaires allant jusqu'à 4 km d'épaisseur recouvraient le nord de l'Amérique et la Scandinavie. C'étaient les calottes du Laurentide et de la Fennoscandie, qui ont respectivement achevé leur fonte il y a 7 000 et 10 000 ans.

Que va-t-il advenir des calottes polaires actuelles ? Le Groenland fond à grande vitesse, l'Antarctique de l'Ouest pourrait être voué à disparaître... On connaît bien les causes de l'élévation actuelle du niveau marin : elle résulte du réchauffement climatique mondial qui entraîne la dilatation thermique des eaux de l'océan et la fonte des calottes glaciaires et des glaciers de montagne. Son évolution dépendra des futures émissions de gaz à effet de serre, le gaz carbonique en particulier. Selon les différentes simulations du GIEC, plus ou moins pessimistes selon que le monde décidera ou non de limiter ses émissions de gaz à effet de serre, l'augmentation du niveau des mers pourrait atteindre près d'1 mètre à la fin du siècle, et même 2,50 mètres si les calottes polaires devenaient instables. Des kilomètres de côtes, de vastes deltas, des îles et atolls tropicaux... et 8 des 10 principales mégalopoles mondiales sont menacés.

Mais calculer l'élévation du niveau des mers est beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît. Car tout bouge sur la Terre. Les continents qui se sont enfoncés lors de la dernière glaciation n'ont pas terminé leur remontée, tandis que les terres entourant les anciennes calottes glaciaires continuent à redescendre. Les masses sur la planète se répartissent différemment, affectant le champ de gravité. Ainsi la fonte d'une calotte polaire entraîne une élévation maritime à l'autre bout de la planète, et non dans les zones toutes proches. L'augmentation du niveau marin sera donc bien différent selon les endroits du globe.

Les marégraphes situés en bord de côtes ainsi que les satellites surveillent en permanence le niveau des océans et les changements de masse sur Terre. Leurs savants calculs permettent d'obtenir des données de plus en plus précises pour préparer le futur. Mais est-il encore possible d'agir pour éviter la catastrophe ?

Sacha Lorens

Quand aura lieu la prochaine super-éruption catastrophique ?

Dans le monde, environ 5 à 10 volcans seraient capables de produire une super-éruption qui aurait possiblement des conséquences catastrophiques sur le climat mondial. L'un d'eux se cache sous les eaux du lac Toba, à Sumatra. Mais comment prévoir la date de la prochaine éruption cataclysmique ?

Le volcan Toba a provoqué deux des plus grandes éruptions connues sur Terre : la première a eu lieu il y a 840 000 ans, et la seconde il y a 75 000 ans. Chacune mesurait environ 2 800 km^3, soit assez pour recouvrir toute la Suisse de 7 cm de cendres. Cela représente des dizaines de milliers de fois la quantité de magma expulsée par l'éruption récente de La Palma, aux Canaries. Deux autres éruptions plus petites ont eu lieu il y a 1,4 million d'années et 500 000 ans.

Mais ces phénomènes se sont déroulés trop loin dans le temps pour avoir des témoignages humains d'éruptions d'une telle envergure. Et cependant, on estime qu'un tel événement affecterait le climat global de la Terre et poserait de nombreux problèmes (approvisionnement alimentaire, déplacement des populations...). C'est pourquoi les géologues de l'UNIGE (Université de Genève) et de l'Université de Pékin s'intéressent au volcan Toba. Ce volcan est une caldeira, c'est-à-dire que les éruptions précédentes ont créé une grande dépression occupée aujourd'hui par le lac. Au centre du lac, une île a surgi des eaux suite à la poussée du magma injecté dans le réservoir subvolcanique. *« Nous observons que cette île augmente progressivement en hauteur ; ce qui indique que le volcan est actif et que le magma s'accumule en dessous »*, mentionne Ping-Ping Liu, professeure au Département des sciences de la terre et de l'espace de l'Université de Pékin et première auteure de l'article. Mais la prochaine super-éruption est-elle proche ? Et quelle serait son ampleur ?

L'équipe internationale de géologues dirigée par l'UNIGE et l'Université de Pékin a mis au point une technique qui permet d'estimer la taille maximale d'une future super-éruption. Dans les produits d'éruptions volcaniques explosives, on trouve du zircon, un minéral qui contient de l'uranium. Cet uranium se désintègre en plomb au fil du temps. En mesurant les taux d'uranium et de plomb dans un zircon à l'aide d'un spectromètre de masse, on peut par conséquent déterminer son âge. Les chercheurs ont déterminé l'âge d'un grand nombre de zircons extraits des produits des différentes éruptions. Le zircon le plus jeune fournit des informations sur la date de l'éruption, tandis que les zircons plus anciens révèlent l'histoire de l'accumulation du magma qui a précédé les super-éruptions.

« La première super-éruption s'est produite il y a environ 840 000 ans, et nous avons déterminé qu'elle a nécessité 1,4 million d'années d'apport de magma ; alors que le magma qui a alimenté la deuxième super-éruption d'il y a 75 000 ans ne s'est accumulé qu'en 600 000 ans », remarque Luca Caricchi, professeur au Département des sciences de la Terre de la Faculté des sciences de l'UNIGE et co-auteur de l'étude. Pourquoi, alors que les deux super-éruptions étaient de même taille, le temps d'accumulation du magma a-t-il été divisé par deux ?

« Cela est lié à l'augmentation progressive de la température de la croûte terrestre, dans laquelle se trouve le réservoir magmatique de Toba », remarque Ping-Ping Liu. L'apport de magma a peu à peu réchauffé la croûte terrestre environnante, et ainsi le magma s'est refroidi moins vite. C'est un cercle vicieux : plus le magma chauffe la croûte, plus il se refroidit lentement et plus le rythme d'accumulation du magma s'accélère. Résultat : les super-éruptions deviennent plus fréquentes avec le temps...


©UNIGE Luca Caricchi

Le lac Toba, à Sumatra, et son île créée par l'accumulation de magma dans le réservoir magmatique du volcan.

Une aurore dans le ciel du Sud

© NASA



Quelques jours avant que Thomas Pesquet ne quitte la Station spatiale internationale, en passant au-dessus du sud de l'océan Indien, entre l'Australie et l'Antarctique, l'équipage put admirer cette magnifique aurore australe.
L'ISS orbite autour de la Terre en 1h30. En 24 heures, elle réalise donc 16 orbites : ce qui lui permet d'observer 16 levers et 16 couchers de soleil !

Le taux d'entrée du magma dans un réservoir magmatique a également été étudiée grâce à la même technique. Et les chercheurs estiment qu'environ 320 km^3 de magma pourraient être prêts à entrer en éruption dans le réservoir du volcan Toba. Une telle éruption détruirait non seulement l'île très peuplée de Sumatra, mais aussi l'environnement mondial ! Selon les scientifiques, 4 km^3 de magma éruptible s'accumulent actuellement dans le réservoir de Toba tous les 1000 ans, et ce taux est stable tout au long de son histoire éruptive. Il prévoit ainsi que la prochaine super-éruption de la taille des deux dernières aurait donc lieu dans environ 600 000 ans, et éventuellement des éruptions plus petites avant.

Il reste à appliquer cette méthode innovante à tout autre volcan à l'échelle mondiale afin d'identifier le volcan le plus proche d'une super-éruption. Mais y aura-t-il des signes avant-coureurs ? *« Notre étude montre qu'aucun événement extrême ne se produit avant une super-éruption »*, souligne Ping-Ping Liu. Par conséquent, une augmentation significative des tremblements de terre ou un soulèvement rapide du sol ne suffiront pas à faire des prévisions. Au contraire, *« tout se passe en silence sous terre, et l'analyse des zircons nous donne maintenant une idée de ce qui est à venir »*, conclut Luca Caricchi.

Des traces de feu vieilles de 560 000 ans !



Jusqu'à aujourd'hui, les premières traces de la domestication du feu par l'Homme en Europe dataient de 400 000 ans. Mais une équipe de recherche a récemment découvert des traces de feu vieilles de 560 000 ans dans la Caune de l'Arago, la grotte située à Tautavel, dans les Pyrénées-Orientales.

C'est déjà dans cette grotte qu'avaient été découvertes des traces de feu datant de 400 000 ans. Mais cette fois, on remonte de 160 000 ans en arrière ! Les sédiments de la Caune de l'Arago, déposés entre - 700 000 et - 100 000 ans, en font un site archéologique unique en Europe. Mais comment les chercheurs ont-ils mis au jour ces très anciennes traces de feu ? Ils ont appliqué des méthodes de susceptibilité magnétique : elles leur ont permis de retrouver les niveaux de minéraux magnétiques formés lors d'épisodes thermiques dans les niveaux les plus anciens du remplissage de la grotte. Les mesures *in situ* ont mis en évidence deux pics localisés dans deux niveaux datés de 260 000 et 560 000 ans respectivement. On y retrouve des charbons de bois et des minéraux magnétiques qu'il est possible de former par chauffes à partir des oxydes de fer initialement présents dans les sédiments. Le niveau le plus récent est connu pour abriter des charbons d'origine anthropique, et leur redécouverte guidée par la susceptibilité magnétique valide l'approche. Par contre, les traces de feu découvertes dans le niveau le plus ancien sont une première. Cela pourrait donc repousser de 160 000 ans la date de la première utilisation du feu sur le territoire de la France actuelle.

On pourrait supposer cependant que ces traces de feu proviennent d'incendies extérieurs. Toutefois, cela impliquerait la conservation, lors du transport dans la grotte, de l'étroite association des minéraux magnétiques et des charbons formés par le feu dans un même niveau : une hypothèse difficile à retenir. La méthode retenue par les chercheurs pourrait désormais être utilisée dans d'autres sites : élargir nos connaissances sur l'usage du feu au Paléolithique est essentiel pour comprendre l'adaptation des humains à leur environnement. (Source INSU)

Une sécurité absolue des transferts de données

À partir du principe physique de la relativité qui stipule qu'aucune information ne peut voyager plus vite que la lumière, une équipe de l'UNIGE a mis au point une nouvelle manière de sécuriser les transferts de données. Une façon de lutter contre le hacking qui se base donc sur un des piliers de la physique moderne.



Les données transférées ne cessent d'augmenter de volume, et la sécurité absolue des échanges ne peut être garantie : les cas de piratage sont fréquents. Aussi les recherches dans ce domaine sont-elles primordiales.

Aujourd'hui, lorsqu'une personne - que l'on nomme le prouveur - veut confirmer son identité (par exemple pour retirer de l'argent à un distributeur), elle doit fournir ses données personnelles au vérificateur (ici la banque), lequel traite ces informations (numéro d'identification et code pin, par exemple). Si le prouveur et le vérificateur demeurent les seuls à connaître ces données, la confidentialité est garantie. Mais si d'autres personnes mettent la main sur ces informations (par exemple en piratant le serveur de la banque), la sécurité est compromise.

Pour lutter contre ce problème, il faudrait que le prouveur puisse confirmer son identité sans rendre en même temps accessibles ses données personnelles. C'est ce que l'on appelle le principe de la preuve à divulgation nulle de connaissance. *« En d'autres termes, lorsque je vais vouloir prouver quelque chose à quelqu'un, je ne vais pas lui démontrer les étapes qui vont servir de preuves ; car la personne aurait accès à toutes les informations et pourrait les reproduire »*, remarque Nicolas Brunner, professeur au Département de physique appliquée de la Faculté des sciences de l'UNIGE. *« Au contraire, je vais parvenir à lui apporter la preuve demandée, sans pour autant lui transmettre la moindre information la concernant, empêchant ainsi toute reprise des données. »*

Ce principe, inventé au milieu des années 80, est mis en pratique depuis quelques années, notamment pour la cryptomonnaie. Mais ces implémentations souffrent d'une faiblesse puisqu'elles sont fondées sur une hypothèse mathématique : le fait qu'une fonction de codage soit difficile à décoder. Or si l'hypothèse ne tenait plus et que le décodage s'avère facile, la sécurité serait compromise car les données deviendraient accessibles.

L'équipe genevoise a donc démontré en pratique un système radicalement différent : une preuve à divulgation de connaissance nulle relativiste. Sur quoi cela se base-t-il ? La sécurité est ici fondée sur un concept de physique, le principe de la relativité, et non plus sur une hypothèse mathématique. Contrairement à cette hypothèse, le principe de la relativité, en tant que pilier la physique moderne, n'est pas prêt d'être remis en question. Il établit que l'information ne voyage pas plus vite que la lumière. La sécurité est par conséquent parfaite et garantie sur le long terme.

Quel est le fonctionnement du système ? L'implémentation d'une preuve à divulgation nulle de connaissance relativiste implique deux paires distantes de vérificateur/prouveur et un problème mathématique extrêmement difficile à résoudre. *« Nous utilisons un problème de trois-colorabilité. Ce type de problème est constitué d'un graphe fait d'un ensemble de points connectés ou non par des liens »*, souligne Hugo Zbinden, professeur au Département de physique appliquée de l'UNIGE. *« Chaque point est colorié par l'une des trois couleurs possibles (vert, bleu ou rouge), et deux points qui sont liés entre eux ne doivent pas être de la même couleur. »* Ces problèmes en trois colorabilités, ici faits de 5 000 points pour 10 000 liens, sont en pratique impossibles à résoudre : il faut en effet essayer toutes les possibilités ! Alors, pourquoi faut-il deux paires de vérificateur/prouveur ?

« Pour confirmer leur identité, les prouveurs ne devront plus fournir un code, mais

démontrer au vérificateur qu'ils connaissent une manière de trois-colorier un certain graphe », ajoute Nicolas Brunner. *« Afin de s'en assurer, les vérificateurs vont choisir au hasard un grand nombre de paires de points du graphe connecté par un lien, et ensuite demander à leur prouveur respectif de quelle couleur est le point. Comme cette vérification se fait de manière quasi simultanée, les prouveurs ne peuvent pas communiquer entre eux pendant le test, et donc ne peuvent pas tricher. »* Par exemple, si les deux couleurs annoncées sont toujours différentes, les vérificateurs sont convaincus de l'identité des prouveurs, parce que ceux-ci connaissent effectivement un trois-coloriage de ce graphe. *« C'est comme lorsque la police interroge deux criminels en même temps dans des pièces séparées : il s'agit de contrôler que leurs réponses concordent, sans leur laisser la possibilité de communiquer entre eux »*, explique Hugo Zbinden. Comme ici les questions sont quasi simultanées, les prouveurs ne peuvent pas se transmettre d'information : il faudrait en effet que celle-ci voyage plus vite que la lumière, ce qui est impossible. Finalement, pour éviter que les vérificateurs ne parviennent à reproduire le graphe, les deux prouveurs remanient sans cesse de manière coordonnée le code couleur : ce qui était bleu devient rouge, le vert devient bleu, etc. La preuve est ainsi faite et vérifiée, sans pour autant révéler la moindre information sur celle-ci.

Concrètement, cette vérification est effectuée plus de 3 millions de fois, le tout en moins de 3 secondes. Il faudrait donc attribuer un graphe encodé à chaque personne. Dans l'expérience genevoise, les deux paires de prouveur/vérificateur sont distantes de 60 mètres, pour s'assurer qu'ils ne peuvent pas communiquer. Mais ce système peut déjà être utilisé, par exemple, entre deux succursales bancaires, aucune technologie complexe ou coûteuse n'étant nécessaire. L'équipe de recherche estime que, dans un avenir très proche, cette distance pourra être réduite à 1 mètre. Pour tout transfert de données, ce système de preuve à connaissance nulle relativiste garantirait une sécurité absolue en quelques secondes, et ne pourrait être hacké.

La planète Vénus n'a jamais pu avoir d'océans



On croyait pourtant que si, selon une étude américaine qui en avait émis l'hypothèse. Cette étude est désormais contredite par des travaux impliquant notamment des scientifiques du CNRS et de l'Université de Versailles Saint Quentin (UVSQ).

Une des quatre planètes telluriques du Système solaire, Vénus représente un mystère pour les scientifiques, quant à savoir si elle a déjà abrité des océans. En utilisant un modèle climatique de dernière génération, l'équipe de recherche a établi un scénario différent de celui de la précédente étude faite par les Américains.

Après sa formation, la jeune planète était couverte de magma. Pour former des océans, il aurait fallu que la température de l'atmosphère diminue pour permettre des pluies de plusieurs milliers d'années, comme ce fut le cas sur notre Terre. Cependant, même si peu après la naissance de Vénus, il y a 4,5 milliards d'années, le Soleil était 30% moins lumineux, cela n'aurait pas suffi à ce que la température de la planète diminue suffisamment pour donner naissance à des océans. Pour provoquer

une telle diminution, il aurait fallu que la surface de Vénus soit à l'époque protégée du rayonnement solaire par des nuages.

Or, le nouveau modèle de climat a montré que ces derniers étaient principalement du côté nuit de Vénus. De ce côté, les nuages ne pouvaient donc pas protéger du rayonnement solaire, qui est par définition absent. Au contraire, au lieu d'offrir une protection, les nuages ont contribué au maintien des températures élevées : ils ont provoqué un effet de serre piégeant la chaleur sous la dense atmosphère. Avec une température trop élevée en surface, la pluie n'a pas pu tomber et les océans n'ont par conséquent jamais pu apparaître, selon ce modèle climatique.

Les futures missions spatiales vers notre planète voisine devraient ramener des données permettant de confronter ces résultats théoriques.

Notre système immunitaire plus en forme le matin !

Il serait en effet plutôt matinal. Des scientifiques de l'UNIGE et de l'Université de Munich ont démontré que l'activité du système immunitaire oscille tout au long de la journée. Et qu'il connaît un pic juste au lever. Ne faudrait-il donc pas le stimuler à l'heure la plus favorable ? Par exemple pour administrer un vaccin ou des immunothérapies contre le cancer.



Notre corps est régulé par les horloges circadiennes, sur un rythme d'environ 24 heures. D'autre part, contrairement au système immunitaire inné qui réagit immédiatement mais de manière peu ciblée, le système immunitaire adaptatif construit sur le long terme une réponse spécifique à chaque agent infectieux. *« Le système immunitaire adaptatif prend des semaines à former une réponse propre à tel ou tel pathogène. Mais celle-ci perdure ensuite longtemps grâce à un mécanisme de mémoire cellulaire »*, remarque Christoph Scheiermann, professeur au Département de pathologie et immunologie et au Centre de recherche sur l'inflammation (GCIR) de la Faculté de médecine de l'UNIGE, qui a dirigé ces travaux. *« C'est typiquement le mécanisme à l'œuvre par exemple lors de la vaccination contre un virus. »*

L'équipe de recherche a souhaité comprendre le rôle des rythmes circadiens sur l'activation immunitaire. Elle s'est penchée pour cela sur la migration des cellules dendritiques de la peau dans le système lymphatique, ce qui représente l'un des piliers de la réponse immunitaire adaptative. Situées dans de nombreux organes périphériques, les cellules dendritiques ont pour fonction de migrer au travers des vaisseaux lymphatiques vers les ganglions. Là, les antigènes sont présentés afin de déclencher une réponse immunitaire contre l'arrivée d'un pathogène.

Les chercheurs ont d'abord observé 4 fois par jour la capacité migratoire des cellules dendritiques de souris standards, puis de souris dépourvues d'horloges internes fonctionnelles. *« Pour que la migration cellulaire puisse avoir lieu correctement, il faut que les cellules dendritiques répondent à une rythmicité circadienne, mais aussi les cellules des vaisseaux lymphatiques »*, explique Stephan Holtkamp, alors chercheur au Biomedical Center de l'Université Ludwig-Maximilian de Munich et premier auteur de ces travaux. Donc, l'horloge circadienne doit être fonctionnelle des deux côtés du mécanisme : sur la cellule et dans son environnement. Dans le cas contraire, les pics d'activités n'ont plus lieu, et le système immunitaire fonctionne au ralenti.

Puis les scientifiques ont renouvelé leur expérience sur des cellules de peau humaine, prélevées sur des patients à différents moments de la journée. *« Nous avons identifié de*

nombreuses molécules, notamment des chémokines, qui participent au processus migratoire et dont l'expression est régulée par les horloges circadiennes », remarque Christoph Scheiermann. « *Les mêmes molécules ont été retrouvées dans les cellules humaines et les cellules de souris avec un rythme inversé correspondant aux habitudes de vie des deux espèces : nocturnes pour les rongeurs, diurne pour les êtres humains.* » Cela confirme que ce rythme est régi par l'activité naturelle en fonction de l'alternance jour-nuit.

Des données complémentaires indiquent que, si l'on stimule le système immunitaire à différents moments de la journée, les mêmes oscillations apparaissent, avec notamment un pic le matin. L'activation du système immunitaire est donc modulée selon le moment de la journée, et la migration des cellules immunitaires de la peau vers les ganglions lymphatiques oscille sur une période de 24 heures. La fonction immunitaire est au plus haut en phase de repos, en fait juste avant la reprise de l'activité - soit dans l'après-midi pour les souris (des animaux nocturnes), et tôt le matin pour les êtres humains.

Mais l'on peut se demander pourquoi le système immunitaire est régi par un rythme oscillatoire. L'équipe de recherche explique que les rythmes circadiens fonctionnent comme un système d'économie de l'énergie, pour utiliser au mieux les ressources énergétiques selon les besoins les plus immédiats. Peut-être est-ce un moyen pour le système immunitaire de se mettre sur le qui-vive aux moments où le risque d'exposition à des pathogènes est le plus grand, par le biais de l'ingestion de nourriture et/ou des interactions sociales. Pourrions-nous alors être plus vulnérables à des pathogènes le soir et la nuit ? Impossible de le dire pour l'instant. Cependant, l'importance du rythme circadien sur le système immunitaire pourrait être majeure, tant pour la vaccination préventive que pour l'administration de thérapies antitumorales ou encore la prise en charge de maladies auto-immunes.

L'équipe va maintenant explorer plus en détail le tout premier stade de la réponse immunitaire, lorsque le pathogène ou le vaccin pénètre dans l'organisme.

Une nouvelle molécule détectée dans l'espace



Les étoiles, puis les systèmes planétaires, naissent au sein de disques proto-planétaires. Il est donc important d'en comprendre la composition pour élucider les mécanismes de formation des planètes. Et pour cela observer les molécules qui s'y trouvent...

Mais il faut aussi comprendre l'évolution chimique de ces mêmes molécules afin d'interpréter correctement les observations moléculaires dans les disques. Parmi les molécules connues à ce jour, celles contenant du soufre demeurent mal comprises. En 1997, grâce au télescope de 30 mètres de l'IRAM, CS (le mono-sulfure de carbone) a été parmi les premières molécules détectées dans les disques. Depuis, rien. Mais récemment, la molécule HCS a été découverte par ALMA, et HS (une molécule clé pour le soufre) par NOEMA.

La même équipe internationale, composée de chercheurs européens et asiatiques, qui avait détecté HS en 2018, a utilisé à nouveau l'interféromètre NOEMA de l'IRAM. Celui-ci présente la capacité de pouvoir observer de nombreuses raies moléculaires en même temps. La nouvelle molécule CCS a ainsi été découverte dans le disque entourant l'étoile triple GG Tau qui avait déjà servi à la précédente étude. Ce disque est assez massif, permettant par conséquent la détection de molécules peu abondantes.

L'abondance de CCS s'avère environ 20 fois plus faible que celle de CS. Le problème de la compréhension de la chimie du soufre dans les disques se trouve renforcé. Aujourd'hui, aucun modèle chimique ne permet de prédire correctement les abondances des molécules soufrées bien détectées (CS, HS, HCS et CCS) ou dont la détection est plus bruitée (SO et OCS).

La détection de cette nouvelle molécule est un pas de plus vers la compréhension de la physico-chimie du plan du disque où naissent les planètes. (Source INSU)

Un remède étonnant contre la sclérose en plaques

Et ce remède serait... le froid ! Des scientifiques de l'UNIGE ont obtenu des résultats étonnants pour atténuer les symptômes de la sclérose en plaques, simplement en privant le système immunitaire de son énergie.

La sclérose en plaques fait partie des maladies auto-immunes, et ces dernières sont en augmentation importante dans les sociétés occidentales. Elles surviennent lorsque le système immunitaire attaque ses propres organes. Par exemple, le diabète de type 1 est causé par la destruction erronée des cellules pancréatiques productrices d'insuline. La sclérose en plaques, maladie auto-immune la plus courante du système nerveux central (cerveau et mœlle épinière), se caractérise par la destruction de la myéline, une isolation protectrice des cellules nerveuses qui joue un rôle important dans la transmission correcte et rapide des signaux électriques. Les troubles neurologiques entraînés par sa destruction peuvent conduire à la paralysie.

Pour se défendre, notre corps dépense beaucoup d'énergie et, face à ces immenses besoins, il peut s'opérer une sélection. *« L'organisme peut ainsi être amené à prioriser l'allocation des ressources dans ses différents programmes de défense en fonction de leur valeur de survie »*, remarque Mirko Trajkovski, professeur au Département de physiologie cellulaire et métabolisme, au Centre du diabète de la Faculté de médecine de l'UNIGE et auteur principal de l'étude. *« Alors, dans le cadre de l'auto-immunité, nous avons émis l'hypothèse qu'introduire un programme supplémentaire coûteux en énergie pourrait mitiger la réponse immunitaire et améliorer les symptômes de la maladie. »* En d'autres termes, il s'agirait de détourner l'énergie dépensée par l'organisme lorsque le système immunitaire se dérègle...

Pour vérifier leur hypothèse, les chercheurs ont placé des souris souffrant de sclérose en plaques dans un environnement un peu plus froid - environ 10°C - en diminuant progressivement la température ambiante. *« Après quelques jours, nous avons observé une nette amélioration de la sévérité clinique de la maladie, ainsi que de l'étendue de la démyélinisation du système nerveux »*, note Doron Merkler, professeur au Département de pathologie et immunologie, au Centre de recherche sur l'inflammation de la Faculté de médecine de l'UNIGE et co-auteur des travaux. Alors que les animaux n'avaient





aucune difficulté à maintenir leur température corporelle à un niveau normal, étonnamment les symptômes de troubles locomoteurs ont diminué de façon spectaculaire : tandis qu'auparavant il leur était impossible de marcher sur leurs pattes arrières, il ne restait qu'une légère paralysie de la queue !

En obligeant l'organisme à augmenter son métabolisme pour maintenir sa chaleur, le froid avait donc privé le système immunitaire de ressources. Cela a entraîné une diminution des cellules immunitaires nocives, et a amélioré par conséquent les symptômes de la maladie.

L'amélioration des conditions de vie dans les pays occidentaux est allée de pair avec une augmentation des cas de maladies auto-immunes. Pourquoi ? *« Si cette augmentation est sans aucun doute multifactorielle, le fait que nous disposions de ressources énergétiques en abondance pourrait jouer un rôle important, bien qu'encore mal compris, dans le développement des maladies auto-immunes »* conclut Doron Merkler. Reste aux scientifiques à étudier comment leur découverte pourra être développée dans des applications cliniques, car l'exposition au froid augmente la susceptibilité à certaines infections.

Le plus ancien comportement symbolique humain

Dans un niveau datant de 142 000 à 150 000 ans dans la grotte de Bizmoune à Essaouira, au centre-ouest du Maroc, une équipe internationale a découvert les plus anciens éléments de parure découverts à ce jour. Et la première preuve directe d'un système d'échange et/ou de communication entre des groupes humains.

Dans cette grotte, ont été mises au jour 32 coquilles façonnées provenant d'un gastéropode marin, *Tritia gibbosula*. L'utilisation de ces coquillages, probablement en pendentif, témoigne d'un comportement symbolique très ancien chez *Homo sapiens*. Les premières découvertes avaient été réalisées dans des sites du Levant datant d'environ 135 000 ans, ainsi qu'en Afrique du Sud vers 76 000 ans. D'autres sites d'Afrique du Nord avec de tels gastéropodes ont été datés entre 116 000 et 35 000 ans. Les découvertes de Bizmoune repoussent donc ces premiers témoignages de ce comportement symbolique encore plus loin, durant une période géologique froide et aride du Pléistocène.

Comme cela se fait encore aujourd'hui, les anciens groupes humains utilisaient probablement des perles de coquillages pour décorer leur corps, leurs vêtements. A Bizmoune, de nombreuses coquilles montrent des traces d'usure et de polis liés à la suspension. Certaines d'entre elles sont même colorées avec de l'ocre rouge, un pigment naturel d'oxyde de fer (des résidus microscopiques sont présents sur les coquilles). On interprète parfois ces éléments de parure comme l'expression de l'identité sociale et culturelle des porteurs. Mais en tout état de cause, cette découverte est la première preuve matérielle directe d'un système d'échange et/ou de communication des groupes d'humains puisque d'autres objets similaires ont été découverts à de longues distances de là (Maroc, Algérie, même Afrique du Sud).

Les minuscules coquillages trouvés à Bizmoune fournissent des informations cruciales sur l'origine du comportement symbolique tel que le langage. Car ces éléments de parure, et ceux présents dans d'autres sites d'Afrique du Nord, sont associés à la culture atérienne du Middle Stone Age connue pour ses célèbres pointes pédonculées. D'autre part, à Bizmoune, les Atériens exploitaient une grande variété d'animaux : équidés, gazelles, phacochères, gnous, grandes antilopes ou d'autres grands bovidés, et même le rhinocéros. Cette association d'animaux fossiles témoigne d'un climat très aride avec des voies de passages entre le centre-ouest du Maroc et l'Afrique sub-saharienne, et des corridors aujourd'hui disparus. Les occupants du site ont consommé d'autres petits animaux (lièvre, tortue) et des fragments d'oeufs d'autruches ont également été retrouvés. Par ailleurs, de nombreux fragments de charbons de bois proviennent d'arbres comme l'arganier ou le thuya, encore aujourd'hui présents dans la région.

Ces données paléoenvironnementales sont cruciales, selon les auteurs. Pour comprendre les origines de ce comportement, il est nécessaire d'examiner de près les facteurs écologiques et démographiques des groupes humains pour lesquels l'affirmation d'une appartenance ou identité propre étaient probablement très importantes. (Source INEE)

Une planète géante erre dans l'espace...



© NASA/JPL-Caltech

Sur cette vue d'artiste, une planète comme Jupiter flotte seule dans l'espace, sans étoile à proximité. Les chasseurs d'exoplanètes ont découvert des milliers de ces objets, la plupart orbitant autour d'une étoile. Mais très peu de mondes extraterrestres ont été détectés évoluant librement à travers la galaxie. On les appelle des planètes voyous. Beaucoup d'astronomes pensent que ce type de planètes est plus courant qu'on ne le croit, mais nos techniques pour découvrir les planètes extraterrestres (transit devant leur étoile, etc.) ne permettent pas de les repérer.

Une étude de planètes, dénommée Microlensing Observations in Astrophysics (MOA), s'est déroulée en 2006-2007 avec le télescope de 1,8 mètre de l'observatoire du Mont John, en Nouvelle-Zélande. Elle avait permis de détecter indirectement, par la technique de microlentille gravitationnelle, des objets célestes de la taille d'une planète lorsqu'ils passent devant une étoile plus éloignée : sa lumière déformée et amplifiée la rend alors plus brillante. En utilisant les dernières technologies, le télescope spatial Nancy Grace Roman de la NASA va entreprendre une nouvelle étude à l'aide d'un télescope à grand champ afin de découvrir beaucoup plus d'exoplanètes.

Le véritable secret des abeilles pour retrouver leur chemin



Lorsque les abeilles butineuses effectuent la danse en 8 dans la ruche, elles communiquent à leurs congénères la direction et la distance de la source de nourriture. Depuis les années 90, on sait qu'elles estiment cette distance sur la base du flux optique perçu pendant leur trajet. Mais de quelle manière le font-elles en réalité ?

Les abeilles (ainsi que tous les insectes ailés de la famille des hyménoptères) et les papillons oscillent en vol d'avance à une fréquence comprise entre 1Hz et 5Hz. En oscillant verticalement, l'insecte enrichit son champ de vecteur de flux optique ventral en ajoutant une composante d'expansion et de contraction au flux optique de translation. Des scientifiques ont simulé la trajectoire en plein champ d'une abeille en vol d'avance qui oscille et régule son flux optique ventral en présence de diverses conditions de vent et de relief (l'étude a été publiée dans la revue *Journal of The Royal Society Interface*).

On supposait jusqu'ici que, pour estimer la distance parcourue, l'insecte intégrait mathématiquement le flux optique ventral, c'est à dire la vitesse angulaire brute de l'image du sol. Mais cette nouvelle étude montre qu'une intégration mathématique brute du flux optique n'est pas du tout fiable : en effet, elle dépend trop de la direction du vent ainsi que de la vitesse et de la hauteur de vol. Par contre, la simulation indique qu'une intégration du flux optique ventral mise à l'échelle visuellement est particulièrement robuste aux diverses conditions de vent, et cela quelle que soit la trajectoire.

Cette mise à l'échelle est donc basée sur la perception visuelle de la hauteur du sol. Et elle est rendue possible grâce aux flux optiques d'expansion et de contraction générés par les propres oscillations verticales de l'abeille en vol. Cette perception visuelle de la hauteur sol est simulée par un estimateur dénommé filtre de Kalman étendu. Pour estimer cette hauteur par rapport au sol, le filtre prend pour entrées la divergence du flux optique ventral rendant compte de l'expansion et de la contraction du flux optique, et la commande d'amplitude de battements d'ailes agissant principalement sur la dynamique verticale.

Ainsi le modèle développé d'odomètre visuel appelé SOFIa montre que ces hauts et ces bas présents dans les trajectoires de vol peuvent aider les abeilles à retrouver une source de nourriture, à retourner à proximité immédiate de la ruche, et à communiquer à leurs congénères une distance de vol fiable entre la ruche et la source de nourriture.

Ces recherches ont des applications particulièrement prometteuses pour la navigation de robots volants dans des environnements privés de GPS. Cet odomètre visuel pourra évaluer la distance parcourue avec précision sur la seule base d'une vision minimaliste. Un brevet a d'ailleurs été déposé en 2021. (Source INSB)

Les exceptionnelles fresques pompéiennes d'Arles

Sur la rive droite du Rhône, le site de la Verrerie a révélé de riches maisons urbaines (ou *domus*), abandonnées à la suite d'un incendie, vers 260 après J.-C. Parmi elles, « la maison de la Harpiste », mise au jour par le Musée départemental Arles antique et l'Inrap, contient de magnifiques « fresques ». Mais celles-ci formaient jusqu'ici un véritable puzzle !

Cette demeure romaine, baptisée ainsi en référence à l'un des personnages peints sur ses murs et fouillée sur 105 m², se distingue par sa datation très précoce, son caractère luxueux et l'état de conservation exceptionnel de ses enduits peints. Elle a été bâtie dans les années 70-50 avant notre ère, avant même la création de la colonie d'Arles, par des artisans venus d'Italie. Ils ont érigé la maison selon des techniques de construction romaines (murs maçonnés, tuiles, sols en briquettes placées en épis qui seront généralisés en Gaule bien plus tard, dans les années 30 avant notre ère). Cette datation précoce témoigne que la ville était un point de diffusion important des nouvelles modes et techniques à travers les provinces nouvellement acquises à Rome.

La *domus* est bâtie selon le plan traditionnel de la fin de la République. Son *atrium* comprend une galerie entourant un bassin recueillant les eaux pluviales (*impluvium*) et il dessert une série de pièces. Le décor de la première pièce suggère une salle à manger ou bien une chambre. La seconde pièce, largement ouverte sur l'atrium et ornée de somptueux décors peints, est donc une salle de réception. La maison n'a pas été longtemps habitée puisqu'elle a été détruite entre 50 et 40 avant notre ère.

Dans un état de conservation remarquable, les peintures sont présentes sur les murs comme sur les fragments effondrés qui remplissent 800 caisses ! L'étude de ce mobilier archéologique a été confiée à un toichographologue (spécialiste des peintures romaines)



© Rémi Bénali, Inrap

Personnage féminin jouant d'une sorte de harpe provenant d'un décor peint de IIe style pompéien (Ier siècle avant notre ère) découvert sur le site de la Verrerie de Trinquetaille à Arles, 2015. Ce type de décor est comparable à celui du *cubiculum* 4 de la *villa* des Mystères à Pompéi.



Maison romaine en cours de dégagement, découverte sur le site de la Verrerie de Trinquetaille à Arles (Bouches-du-Rhône). Les fouilles ont révélé un décor peint de IIe style pompéien, daté en Gaule entre 70 et 20 avant notre ère.

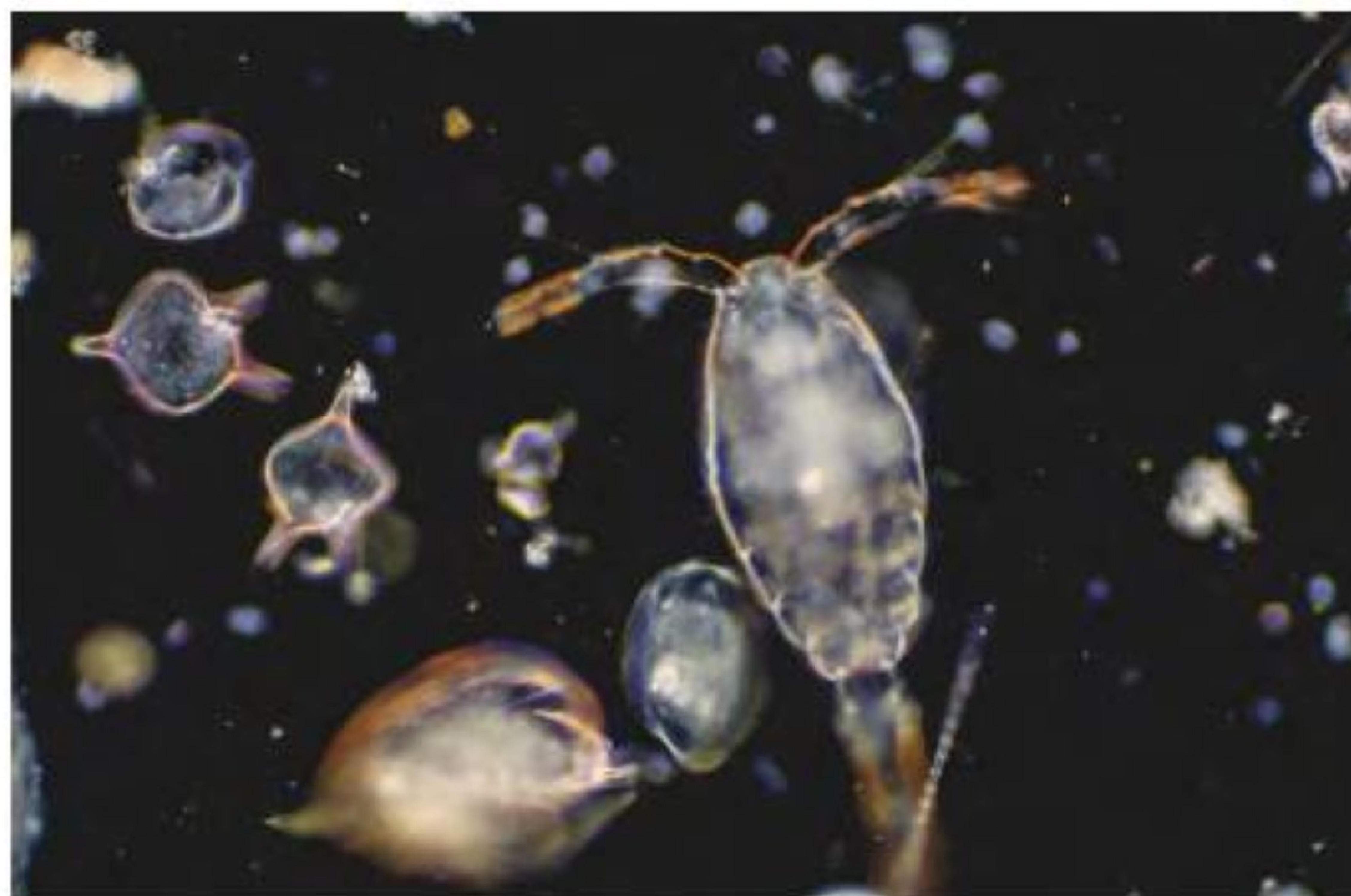
de l'Inrap, en collaboration avec les archéologues et restaurateurs du Musée. La recomposition du premier décor est menée depuis avril 2021 dans la salle d'exposition temporaire du musée, où les fragments de fresques s'étalent sur plus de 220 m². Parallèlement, des recherches sont notamment engagées sur le rouge vermillon des peintures sur le site afin de prévenir son noircissement irrémédiable. Déjà 6 décors ont été reconnus, témoins du luxe ostentatoire développé par le propriétaire de la *domus*, et se rattachant au deuxième style pompéien. Des témoignages rares en France car seuls les plus riches commanditaires, pétris de culture romaine, avaient les moyens nécessaires pour faire intervenir des ateliers italiens. Aucun autre site n'a jusqu'alors livré un ensemble aussi conséquent, diversifié et d'une telle qualité.

La première pièce présente un décor d'inspiration architecturale qui divise la salle en deux espaces distincts (antichambre et alcôve). L'ornementation, typique de ce deuxième style pompéien, imite une architecture de grand appareil. Elle ménage une antichambre à dominante jaune, et une alcôve à l'ornementation plus élaborée et aux couleurs beaucoup plus chatoyantes. Dans l'antichambre, la partie inférieure du mur imite un podium en marbre gris, supportant de lourdes colonnes jaunes, tandis que des rangs de blocs colorés occupent la partie supérieure. Dans l'alcôve, le décor, de même inspiration, est développé avec une polychromie plus luxueuse. Le podium aux couleurs vives est rehaussé de rosaces rouge bordeaux. De riches panneaux d'imitation de placages de marbre apparaissent sur la zone médiane, surmontée de rangs de blocs tout aussi chatoyants : une délicate frise d'Amours chasseurs s'y insère. Ce type de décor correspond au seul modèle de deuxième style trouvé en Gaule jusqu'ici. Une quinzaine de sites en possède des exemples, mais cependant moins complets (Saint-Rémy-de-Provence, Nîmes, Narbonne…).

Les peintures de la pièce d'apparat comportent un autre type de décor encore inconnu en Gaule : une galerie de grand personnages, dont la harpiste, positionnés sur des piédestaux et se dégageant sur un fond rouge vermillon. La musicienne est accompagnée d'autres personnages appartenant probablement au cortège bachique : ce type de figuration de grande taille est appelé « mégalographie ». De rares exemples représentant des personnages sur fond rouge vermillon sont connus en Italie, par exemple dans la villa des Mystères à Pompéi. Mais en France, ce type de décor dans un tel état de conservation représente une réelle nouveauté.

Processus mystérieux au fond des océans

Comment l'une des cyanobactéries les plus abondantes sur Terre, *Synechococcus*, a-t-elle été capable de coloniser les océans de l'équateur aux cercles polaires ? Parce qu'elle a su jouer avec la lumière...



Indispensable à la vie marine, le phytoplancton marin est à l'origine de la majeure partie du pompage biologique de carbone des océans dans le monde, à travers le processus de photosynthèse. La cyanobactérie *Synechococcus*, qui fournit une quantité notable de l'oxygène de la planète, a adapté son utilisation de la lumière pour coloniser différentes niches thermiques dans les océans.

Une équipe de recherche de la Station biologique de Roscoff (Sorbonne Université/CNRS) a ainsi montré que les cyanobactéries *Synechococcus* tropicales sont très sensibles au froid : elles sont incapables de croître en-dessous de 16°C.

Tandis qu'en milieux chauds, elles peuvent se diviser très rapidement en augmentant de manière considérable leur activité photosynthétique. *« La réactivité des cellules tropicales de Synechococcus marins à une augmentation de température est impressionnante ! »* souligne Christophe Six, maître de conférences à Sorbonne Université et chercheur à la Station biologique de Roscoff. *« Les cultures se colorent d'un rose intense, et nous avons mesuré les taux de croissance les plus hauts jamais observés pour ces cyanobactéries. »*

Dans les mers subpolaires, les *Synechococcus* poussent moins vite mais peuvent survivre à des températures en-dessous de 8°C. L'équipe de recherche de Roscoff a mis en évidence que ces cyanobactéries utilisent une protéine photoprotectrice appelée OCP *(Orange Carotenoid Protein)* : celle-ci leur permet de mieux réguler leur photosynthèse à basse température.

Le facteur température a donc considérablement influencé l'évolution de cette protéine photosynthétique dans les océans. Cela suggère que la régulation de la photosynthèse est un verrou important dans les processus d'adaptation aux changements climatiques.

« Notre étude met en évidence des mécanismes fondamentaux d'adaptation du plancton photosynthétique marin. Ceux-ci risquent d'être modifiés en réponse au réchauffement global des océans », ajoute Christophe Six.

Rappelons que les cyanobactéries sont des bactéries très particulières car capables de faire la photosynthèse. Elles ont colonisé la plupart des écosystèmes illuminés et sont aussi à l'origine du chloroplaste des plantes terrestres. Organismes photosynthétiques numériquement les plus abondants de notre planète, elles jouent par conséquent un rôle primordial dans la régulation globale du climat.

L'Univers primitif contient plus de galaxies qu'il n'y paraît

Il y a plus de 13 milliards d'années, lorsque l'Univers n'avait que 5% de son âge actuel, des galaxies se sont formées.
Alors qu'elles sont bien cachées dans l'Univers primitif, deux d'entre elles ont été récemment découvertes, fortement encombrées de poussière.

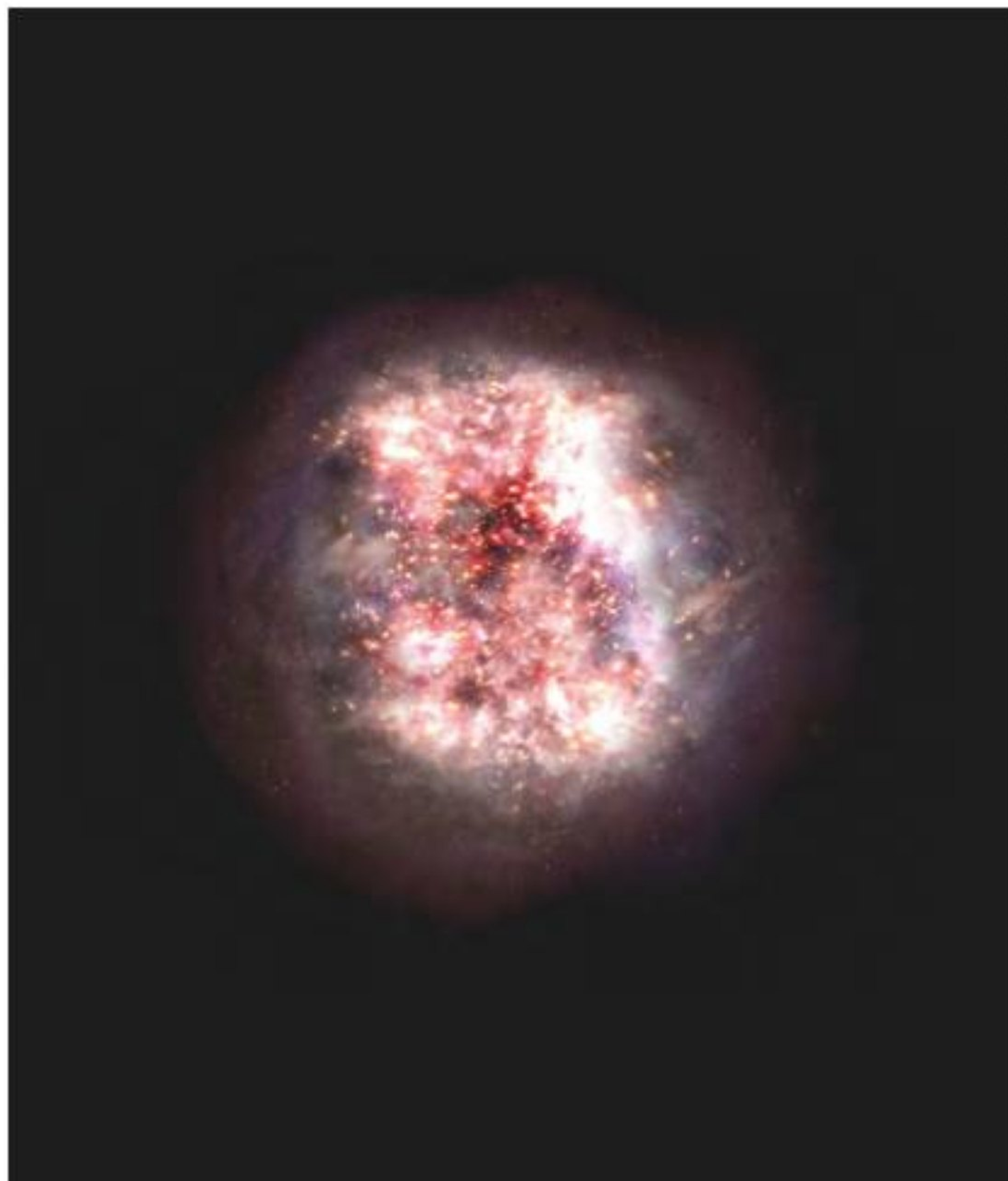
Ce sont des émissions inattendues, provenant de régions apparemment vides de l'espace, qui ont été remarquées par des astronomes dirigés par l'Université de Genève (UNIGE), l'Université de Waseda et l'Observatoire astronomique national du Japon (NAOJ) alors qu'ils travaillaient avec le grand réseau millimétrique/submillimétrique d'Atacama (ALMA), au Chili. Ils ont confirmé que ces signaux provenaient de deux galaxies jusqu'alors inconnues, fortement obscurcies par la poussière cosmique. Cette découverte suggère que de nombreuses autres galaxies de ce type peuvent encore être cachées dans

l'Univers primitif, bien plus que ce que l'on pensait jusqu'alors.

L'étude de cet Univers primitif est l'une des dernières frontières de l'astronomie. Elle est essentielle pour comprendre quand les toutes premières étoiles ont commencé à se former dans l'histoire cosmique. C'est pourquoi l'un des principaux objectifs des chercheurs est de trouver et de compter toutes les galaxies qui ont commencé à se former au cours du premier milliard d'années.

Ces dernières décennies, les scientifiques ont tenté d'observer les galaxies lointaines, qui se caractérisent par des émissions électromagnétiques fortement décalées vers des longueurs d'onde plus grandes avant d'atteindre la Terre. Le télescope spatial Hubble, qui sonde l'émission de ces galaxies dans l'ultraviolet, a contribué à leur observation. Plus récemment, les astronomes ont utilisé la capacité unique de l'ALMA pour étudier les galaxies lointaines dans une longueur d'onde complètement différente : les longueurs d'onde submillimétriques. Dans le cadre d'un vaste programme en cours appelé REBELS *(Reionization-Era Bright Emission Line Survey)*, les scientifiques utilisent ALMA pour observer ainsi les émissions de 40 galaxies cibles à l'aube cosmique. Et ils ont donc découvert que l'Univers primitif en contient plus qu'il n'y paraît.

Les astronomes ont d'abord été surpris en remarquant la présence d'une forte émission de poussière et de carbone singulièrement ionisée dans des positions considérablement décalées par rapport aux cibles initiales. Et après analyse, il s'avère que ces émissions inattendues proviennent de deux galaxies précédemment inconnues situées près des deux cibles originales. *« Ces galaxies ne sont pas visibles dans les longueurs d'onde de la lumière UV ou optique, car elles sont presque entièrement obscurcies par la poussière cosmique »*, relève Pascal Oesch, professeur au Département d'astronomie de la Faculté des sciences de l'UNIGE. *« L'une d'entre elles représente la plus lointaine galaxie obscurcie par la poussière découverte à ce jour ! »*



© ALMA (ESO/NAOJ/NRAO), NASA/ESA Hubble Space Telescope

Impression d'artiste de l'une des deux galaxies récemment découvertes, enfouie dans la poussière : ce qui la rend invisible pour le télescope spatial Hubble.

Le plus surprenant dans cette découverte est que ces galaxies cachées, qui se sont formées il y a plus de 13 milliards d'années, ne sont pas du tout étranges lorsqu'on les compare aux galaxies typiques de la même époque. On ne les voyait pas simplement parce qu'elles sont complètement cachées par la poussière. *« Notre découverte suggère qu'il pourrait y avoir un grand nombre de galaxies non reconnues formant beaucoup d'étoiles cachées derrière une poussière dense et que le télescope Hubble ne parvient pas à détecter »* observe Yoshinobu Fudamoto, chercheur à l'Institut de recherche en sciences et ingénierie de l'Université de Waseda et à l'Observatoire astronomique national du Japon. Dans cette période initiale de l'Univers, soit moins d'un milliard d'années après le Big Bang, les astronomes soulignent qu'il est rare de trouver des galaxies aussi "poussiéreuses", ce qui laisse supposer que le recensement actuel de la formation des premières galaxies est incomplet et nécessiterait des enquêtes plus poussées. *« Il est possible qu'il nous manque encore jusqu'à une galaxie sur 5 dans l'Univers très ancien »*, estime le chercheur japonais.

Les oiseaux de mer affamés par les cyclones

Des milliers de carcasses d'oiseaux marins sont découvertes chaque hiver, très amaigries, sur les côtes de l'Atlantique nord, en Amérique comme en Europe. Les cyclones en seraient responsables... mais pas de la manière que l'on pourrait croire.

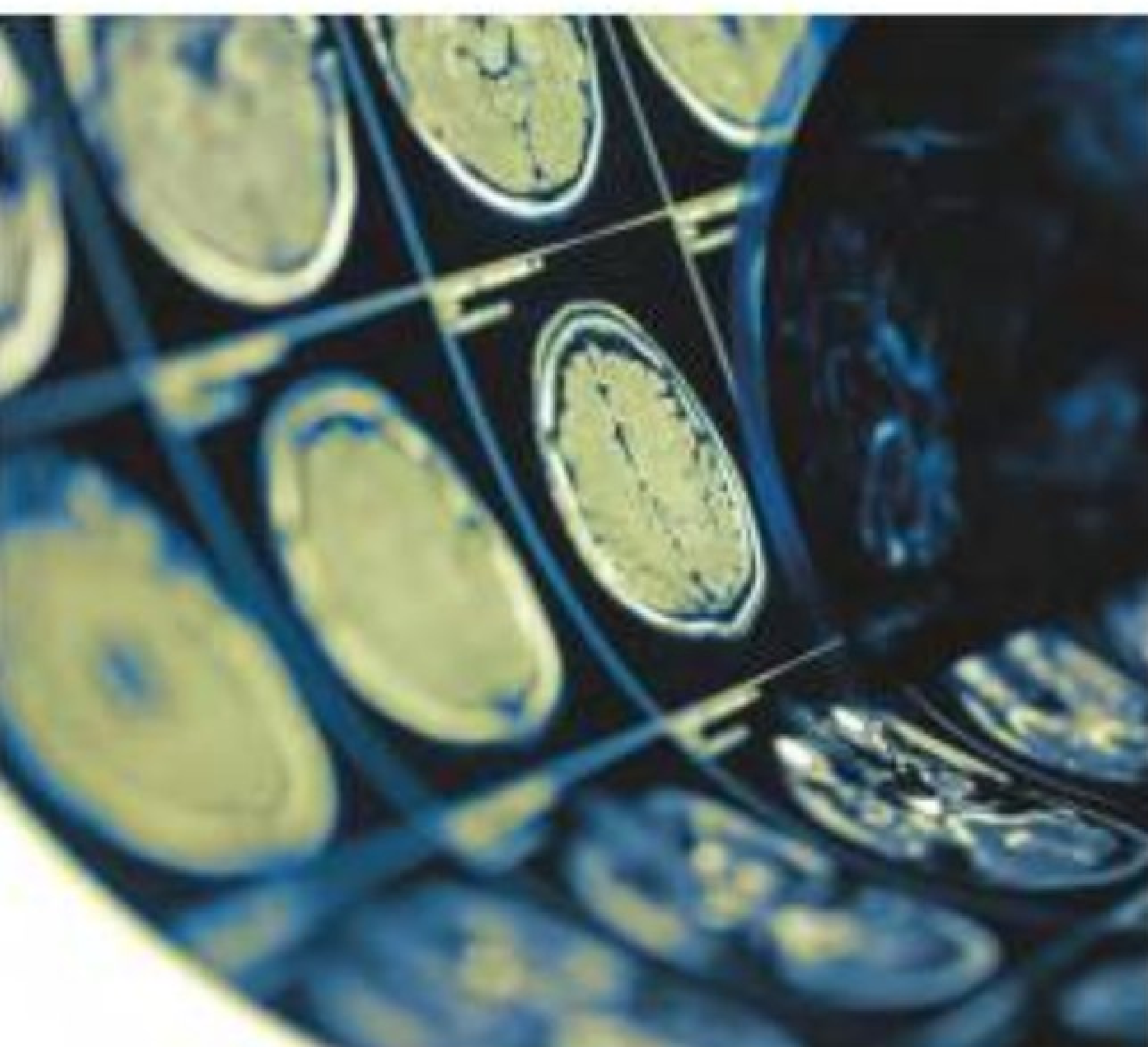
Quand les oiseaux migrent de leur lieu de nidification en Arctique vers l'Atlantique Nord, plus au sud, afin d'hiverner dans des conditions plus favorables, ils se confrontent souvent à des cyclones de forte intensité. Une équipe de recherche internationale comprenant le CNRS a voulu savoir comment les cyclones entraînent le décès de ces oiseaux.



Les scientifiques ont équipé avec de petites balises plus de 1500 oiseaux des 5 principales espèces concernées : macareux moine, mergule nain, mouette tridactyle et deux espèces de guillemots. Et en juxtaposant leurs déplacements avec les trajectoires des cyclones, ils ont pu déterminer le degré d'exposition des oiseaux à ces événements météorologiques. Ils ont également modélisé la dépense énergétique des oiseaux dans de telles conditions.

Étonnamment, les oiseaux ne décèdent pas d'une dépense énergétique accrue, mais suite à leur incapacité à se nourrir pendant un cyclone. Ces espèces sont particulièrement inadaptées à voler dans des vents violents, et certaines ne peuvent pas plonger et donc pêcher dans une mer déchaînée. Au-delà de quelques jours, si les conditions défavorables s'éternisent, les oiseaux meurent de faim. Un danger qui s'accroît par conséquent pour les oiseaux marins du fait de la plus grande fréquence des cyclones de forte intensité en Atlantique Nord avec les changements climatiques.

Un interlocuteur virtuel pour évaluer des lésions cérébrales



À la suite d'un traumatisme crânien, des lésions cérébrales peuvent affecter la cognition sociale. Cela entraîne un handicap «invisible» qui diminue les interactions avec les autres. Mais il n'est pas facile à détecter par des tests...

Ceux-ci comportent en effet des biais : ils ne ciblent pas correctement les processus cognitifs à évaluer tels qu'ils sont mis en jeu dans la réalité des interactions quotidiennes. L'équipe de Maud Champagne-Lavau, chercheuse au CNRS, a mis au point un nouveau test pour améliorer ce dispositif. Cet outil inédit, nommé EVICog, reproduit des interactions sociales sous forme d'un échange avec un agent virtuel. Les patients sont placés alors dans une situation plus proche de la réalité. Ils échangent avec des agents virtuels nommés Marie et Pierre, dirigés par un expérimentateur pouvant être un psychologue, et celui-ci choisit les réponses verbales et émotionnelles de ces agents virtuels parmi celles programmées.

La discussion avec un agent virtuel pourrait devenir ainsi un nouveau test de référence pour évaluer les conséquences des traumatismes crâniens sur les interactions sociales.

Détecter le type de douleur par une prise de sang



De nombreuses personnes souffrent de douleurs chroniques, lesquelles peuvent durer des mois voire des années. Pour les traiter au mieux, il faut les catégoriser. Mais il est très compliqué pour les patients de définir leur douleur, son degré d'intensité ou même sa localisation à travers des questionnaires.

On classe les douleurs chroniques en deux catégories principales : les douleurs nociceptives - définies par l'activation des récepteurs au bout des fibres nerveuses (arthrose, brûlures, infections...) -, et les douleurs neuropathiques qui découlent d'une atteinte des structures nerveuses (en cas de zona par exemple). Pour pouvoir classifier de quelle douleur souffre le patient, celui-ci doit remplir des questionnaires et quantifier l'intensité de sa douleur grâce à des échelles évaluatives. Mais cela comporte une grande part de subjectivité et prend du temps.

Pour contourner ces difficultés, des scientifiques de l'Université de Genève (UNIGE) se sont associés au service de recherche de la Clinique romande de réadaptation (CRR) de Sion, où sont traitées beaucoup de personnes souffrant de maladies chroniques, afin d'effectuer une analyse épigénomique complète de patients. L'objectif : trouver les signatures épigénétiques propres à chaque catégorie de douleur. Une simple prise de sang permettrait ainsi de définir de quelle douleur souffre la personne !

L'équipe genevoise a effectué une analyse des génomes entiers de 57 patients : 20 ne ressentant aucune douleur, 18 souffrant de douleurs nociceptives et 19 de douleurs neuropathiques. Et contre toute-attente, non seulement les chercheurs ont identifié des signatures épigénétiques très frappantes signalant la douleur, mais de plus sans aucun chevauchement entre les douleurs nociceptives et les douleurs neuropathiques. Ce qui est étonnant. On aurait pu penser en effet que la difficulté à définir sa douleur provenait d'une similarité dans la signature épigénétique...

Mais cela n'est pas le cas. Les biomarqueurs propres aux douleurs nociceptives sont les gènes du système opioïde (impliqués dans l'émotion, la récompense et la douleur) et les gènes de l'inflammation (propres aux phénomènes irritatifs). Les biomarqueurs des douleurs neuropathiques sont, eux, liés uniquement aux gènes du système GABA, c'est-à-dire les neurotransmetteurs du système nerveux central.

Une simple prise de sang permettra donc d'effectuer une recherche sur ces biomarqueurs pour définir de quel type de douleur souffre une personne. Comme le soulignent les chercheurs, le traitement ne sera ainsi plus consacré aux symptômes, mais bien à la racine du mal.

Et pourquoi ne pas aller plus loin ? L'épigénétique est en effet caractérisée par le fait que l'expression d'un gène se trouve modifiée durablement. Après avoir appliqué le bon traitement, les scientifiques imaginent pouvoir suivre la réversion de la douleur en observant si les biomarqueurs reviennent à la normale.

Prédire les maladies psychotiques

Parmi les enfants souffrant d'une microdélétion du chromosome 22, un tiers développera à l'adolescence une maladie psychotique, comme par exemple la schizophrénie. Mais comment savoir lesquels seront concernés ?

Une personne sur 4000 souffre d'une microdélétion du chromosome 22. Connaître lesquelles seront le plus à risque de développer un trouble psychique se révèle d'importance pour une prise en charge précoce. Mais comment savoir ? Car de nombreuses variables - autres que neurobiologiques - contribuent au développement des maladies psychotiques. *« Pour l'instant, les analyses se penchent sur les mécanismes neurobiologiques engagés dans les troubles psychiques, ainsi que sur la présence de certains symptômes que l'on assimile à une*

Une danse galactique dangereuse



© ESA/Hubble & NASA, J. Dalcanton ; Acknowledgment : J. Schmidt

Ces deux galaxies, NGC 5953 et NGC 5954, sont tellement imbriquées qu'elles ont un nom collectif : Arp 91. En réalité, toutes deux sont des galaxies spirales, mais leur forme semble très différente du fait de leur orientation par rapport à notre planète. Elles sont ici photographiées par le télescope spatial Hubble de la NASA et de l'ESA et réalisent leur délicate danse galactique à plus de 100 millions d'années-lumière de la Terre.

Comme le souligne l'Agence spatiale européenne, c'est l'immense attraction gravitationnelle des deux galaxies qui est responsable de cet exemple particulièrement frappant d'interaction. La plupart des astronomes pense que les collisions entre deux galaxies spirales conduit à la formation d'un autre type de galaxie : les galaxies elliptiques. Ces collisions extrêmement énergétiques et massives se produisent sur des échelles de temps phénoménales : des centaines de millions d'années. Aussi, tout au cours de notre vie d'humain, nous ne verrons pas Arp 91 sous une autre forme ! (Crédit ESA)

maladie psychique, sans pour autant savoir lesquels sont les plus prégnants », souligne Corrado Sandini, chercheur au Département de psychiatrie de la Faculté de médecine de l'UNIGE, à la Fondation Pôle Autisme.



Ne pas pouvoir prendre en considération le degré d'importance de chaque symptôme peut poser problème dans les prédictions évolutives de la maladie, et ensuite dans la mise en place du traitement le plus adéquat pour chacun. *« C'est pourquoi nous avons pensé à l'utilisation de la méthode d'analyse en réseau »*, explique le chercheur. Cette méthodologie, qui est utilisée à l'heure actuelle sur des adultes, permet de combiner des variables de mondes complétement différents dans un même espace d'analyse, et ce tout en les considérant de manière individuelle. *« Le développement de maladies psychotiques dépendant de multiples variables autres que purement neurobiologiques, cet algorithme pourrait permettre la mise en exergue des symptômes les plus importants pour donner l'alerte sur les risques potentiels de l'enfant à devenir, par exemple, schizophrène »*, note Stéphan Eliez, professeur au même Département et à la Fondation Pôle Autisme.

L'équipe genevoise s'est associée à des chercheurs de l'EPFL afin de développer cette méthodologie et la tester sur des enfants et adolescents souffrant d'une microdélétion du chromosome 22 et suivis pour certains depuis plus de 20 ans. L'analyse en réseau est personnalisée pour chacun de manière longitudinale, pour obtenir des statistiques de qualité sur une variable tout au long de la trajectoire de développement de l'enfant. L'objectif : trouver les variables de l'enfance qui vont pouvoir annoncer le développement de maladies psychotiques, et ensuite tenter de réguler le symptôme afin de réduire le risque ultérieur de développer une telle maladie.

40 variables ont été prises en compte pour 70 enfants observés tous les 3 ans de l'enfance à l'âge adulte. Parmi ces variables : les hallucinations, l'humeur générale, le sentiment de culpabilité ou encore la gestion du stress quotidien. À cela se sont ajoutés des questionnaires remplis par les parents. Puis des graphiques ont déterminé les variables les plus importantes qui permettent de prédire le développement de problèmes psychiques 3 ans plus tard. *« Nous avons ainsi constaté qu'un enfant de 10 ans anxieux, dont l'anxiété se transforme à l'adolescence en une incapacité à gérer le stress, a de fortes chances de développer une maladie psychique. L'évolution de l'anxiété est par conséquent un signal d'alerte prégnant »*, poursuivent les chercheurs. La tristesse, qui se transforme avec le temps en sentiment de culpabilité, est également un symptôme de première importance.

Les chercheurs ont appliqué leur algorithme à d'autres enfants vulnérables aux maladies psychotiques suivies depuis de nombreuses années pour confirmer leurs résultats. Ils ont pu confirmer ainsi que l'outil informatique fonctionne. Il s'agit maintenant de l'utiliser comme outil de prédiction, mais aussi de l'affiner en y intégrant d'autres variables, comme par exemple le poids. Cette prédiction a aussi comme but d'éviter la maladie, et l'intérêt est surtout le caractère totalement personnalisé qui étudie la trajectoire développementale propre à chaque enfant.

Du nouveau sur la formation des continents

Caractéristique spécifique à la Terre, les continents recèlent encore bien des mystères. Leur histoire géologique vient d'être revue par une chercheuse du CNRS.

Ils sont souvent cités au nombre de 5, parfois de 6, alors qu'ils sont pourtant 7 ! Les continents, constituant la partie émergée de la croûte continentale terrestre, ont des reliefs variés ainsi que des roches de composition et d'âges différents. Cette hétérogénéité rend leur étude particulièrement complexe.

Chercheuse du CNRS au Laboratoire magmas et volcans (CNRS/IRD/Université Clermont

Auvergne), Marion Garçon a étudié une compilation de données regroupant des informations sur des roches sédimentaires âgées de 3,7 milliards d'années à nos jours. En se basant sur les mesures chimiques acquises depuis les années 1980, la scientifique a apporté un regard nouveau sur l'enregistrement des roches sédimentaires. Elle a pu tirer deux conclusions qui remettent en cause certains modèles et théories sur la formation des continents.



La première conclusion est que les continents ont toujours été riches en silice. En effet, la silice constitue en moyenne 67% de la masse des continents et elle n'est jamais descendue en dessous des 60% au cours de l'histoire de notre planète. Cette première découverte vient contredire les modèles établissant que les continents étaient plutôt pauvres en silice et riches en fer et magnésium au début de l'histoire de la Terre.

La seconde découverte établit que la formation des continents n'est pas un processus continu. Il y a eu 6 grands événements de croissance de la croûte continentale tous les 500-700 millions d'années au cours des derniers 3,7 milliards d'années. Ces événements ont permis aux continents de grossir pour atteindre leur taille actuelle.
Ils pourraient être liés aux cycles d'assemblage et de démantèlement des supercontinents tels que la Pangée, le plus célèbre d'entre eux. En effet, à travers les âges, les supercontinents ont connu de tels cycles avec une récurrence proche de celles des 6 événements de croissance continentale découverts par cette étude. Si aucune corrélation ne peut être faite entre ces événements, cela permet d'orienter toutefois de futures études.

Comment l'océan « respire » le mercure



Le mercure est devenu un véritable fléau. Présent aujourd'hui dans tous les océans du globe, où il s'accumule dans la chaîne alimentaire, ne va-t-il pas un jour nous empêcher de consommer tous les produits de la mer ?

Mais d'où vient ce mercure ? De la combustion du charbon et des activités minières. Il pollue l'air et retombe dans l'océan. Cependant, on croyait jusqu'ici que ce gaz polluant était apporté principalement par les eaux de pluie. Une nouvelle étude* montre en fait que la voie d'entrée principale du mercure se fait par absorption gazeuse : l'océan le « respire » comme il respire du CO2.

Ces travaux suggèrent également que les océans reçoivent moins de mercure atmosphérique qu'estimé précédemment. Mais cela ne veut pas dire qu'il y a actuellement une diminution de la contamination des poissons. Cependant, dans le contexte de la Convention de Minamata sur le mercure entrée en vigueur en 2017, des politiques de réduction des émissions de mercure sont élaborées : cela devrait donc diminuer à l'avenir le mercure dans les océans et dans nos assiettes.

**Ces travaux ont été menés par une équipe internationale impliquant des scientifiques du laboratoire Géosciences environnement Toulouse (CNRS/ Université Toulouse III - Paul Sabatier/Cnes/IRD), de l'Institut méditerranéen d'océanologie (CNRS/Aix-Marseille Université/IRD/Université de Toulon) et du laboratoire Environmental Geosciences de l'université de Bâle (Suisse).*

Pourquoi des astéroïdes sans poussières ?

Les scientifiques de la NASA avaient été surpris en octobre 2020 par ce qu'a découvert la sonde OSIRIS-REx à l'approche de l'astéroïde Bennu, sur lequel elle allait récolter des échantillons. La surface de ce corps céleste n'était pas recouverte, comme ils l'attendaient, d'une couche de poussière fine appelée régolithe. Quelle peut en être la raison ?

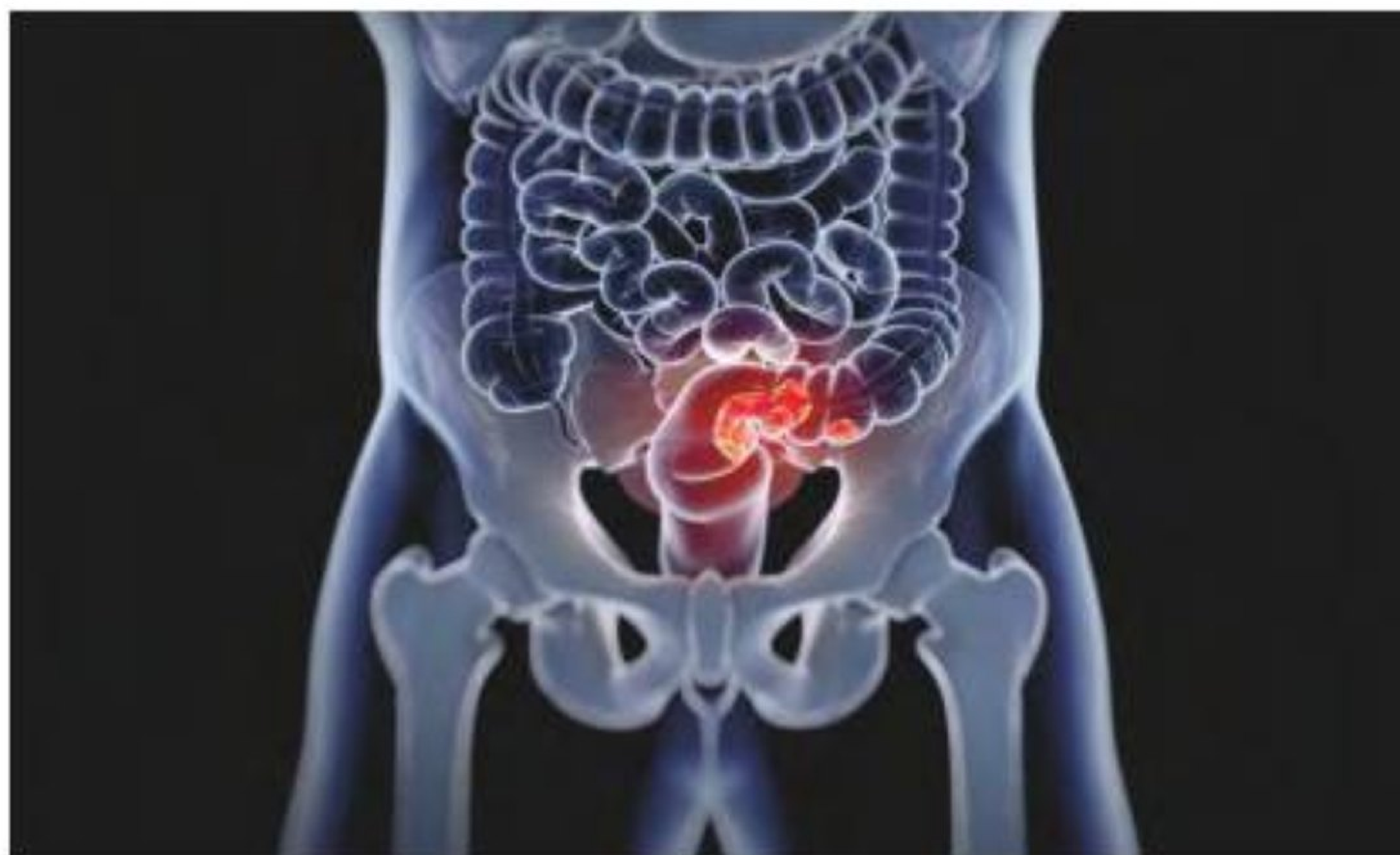


Sur la Lune et certains astéroïdes, on retrouve toujours cette poussière. Elle vient du fait que des chocs thermiques et l'impact des météorites fragmentent les roches superficielles. Mais ce n'est pas le cas sur Bennu : sa surface est composée essentiellement de rochers nus d'assez grande taille.

L'énigme vient d'être résolue par une équipe internationale menée par des chercheurs de l'Université d'Arizona et du CNRS. L'absence de régolithe s'expliquerait par la porosité des roches. Lorsqu'elles reçoivent l'impact d'un bolide, elles se déforment sans éclater, comme le font les roches dures. La sonde japonaise Hayabusa-2 qui, à la surface de l'astéroïde Ryugu, n'a trouvé que très peu de régolithe, a confirmé ces résultats.

Rappelons que les astéroïdes sont considérés comme des archives des toutes premières étapes du Système solaire. Aussi ces travaux permettront-ils de mieux comprendre leur évolution mais aussi d'aider à la préparation des prochaines missions spatiales qui ramèneront des échantillons sur Terre.

Une nouvelle thérapie contre le cancer colorectal



Le cancer colorectal est la deuxième cause de mortalité liée au cancer dans le monde. L'une des principales causes de mortalité des patients est le développement de métastases hépatiques. Une stratégie immunothérapeutique récente, la thérapie par blocage des points de contrôle immunitaire (ICB), a depuis quelques années révolutionné le traitement du cancer. Mais elle n'est efficace que chez moins de 15% des malades.

Grâce à cette thérapie, plus de la moitié des cas de mélanome métastatique, autrefois incurable, peut maintenant guérir. Mais le cancer colorectal reste particulièrement réfractaire à ce traitement, et notamment

lorsque le cancer se propage au foie. Une équipe américano-suisse - de l'Université de Genève (UNIGE) et du Massachussetts General Hospital (MGH) - a voulu décrypter pourquoi les cancers colorectaux résistaient aux immunothérapies afin de proposer une nouvelle combinaison thérapeutique potentiellement efficace.

Les scientifiques ont étudié différentes lignées cellulaires de cancer colorectal chez un modèle animal pour voir comment il réagissait à la thérapie ICB. Lorsque les tumeurs étaient injectées sous la peau, elles répondaient bien à la thérapie ICB. Mais lorsque le cancer se développait dans le côlon avant de métastaser dans le foie, comme chez les êtres humains, les cellules cancéreuses présentaient une grande résistance à la thérapie ICB. Cela prouve donc comment l'environnement dans lequel les cellules cancéreuses évoluent peut influencer l'efficacité de l'immunothérapie.

Les tumeurs primaires colorectales peuvent en général être retirées chirurgicalement ; ce sont les métastases hépatiques qui en résultent qui constituent la principale cause de décès. Mais pourquoi ces métastases dans le foie résistent-elles à la thérapie ICB ? C'est la composition des cellules immunitaires présentes dans ces métastases qui a fourni l'explication. Dans les métastases hépatiques, on constate une absence de cellules dendritiques, des cellules du système immunitaire nécessaires à l'activation des lymphocytes T cytotoxiques. Or c'est justement sur ce mécanisme biologique que se base la thérapie ICB.

Si l'on renforçait la présence des cellules dendritiques dans les tumeurs, les immunothérapies pourraient donc gagner en efficacité. Les scientifiques ont administré au modèle animal un facteur de croissance (Flt3L) qui favorise la production de cellules dendritiques. Et ils ont pu constater une nette amélioration de l'efficacité des immunothérapies ICB.

Des évaluations cliniques devront maintenant être faites pour confirmer sur l'être humain ces premiers résultats très encourageants.

Voir de loin des détails inférieurs à la longueur d'onde



Grâce à des ondes "rebondissantes", un chercheur français est parvenu à mesurer des détails d'un objet bien plus petit que la longueur d'onde d'illumination. Et cela tout en restant à distance, de manière non-invasive.

La résolution d'un instrument optique est limitée par ce que l'on appelle le phénomène de diffraction de l'onde électromagnétique : ainsi, les détails plus petits que la longueur d'onde λ utilisée ne peuvent être observés. Certains instruments, notamment des microscopes, parviennent à s'affranchir de cette limite en mesurant les ondes évanescentes, qui n'existent que très près de l'objet observé. Mais cette méthode est par conséquent invasive.

Un chercheur de l'Institut d'électronique et des technologies du numérique (IETR, CNRS/Univ. Rennes 1/INSA Rennes/Univ.Nantes/CentraleSupélec), en collaboration avec ses collègues de l'université de Würzburg (Allemagne) et du laboratoire Kastler Brossel (LKB, CNRS/Sorbonne Université/ENS/Collège de France), a découvert un autre moyen de distinguer des détails inférieurs à la longueur d'onde, et ce en restant à distance de l'objet. La méthode exploite des ondes « rebondissantes », c'est-à-dire qu'elles se réfléchissent de multiples fois sur les parois internes d'une cage et sur l'objet qui y est placé. Ce dispositif donne des informations sur l'objet avec une résolution meilleure que la longueur d'onde. Et

un algorithme d'intelligence artificielle est capable de les extraire dans des résultats de mesure qui semblent aléatoires.

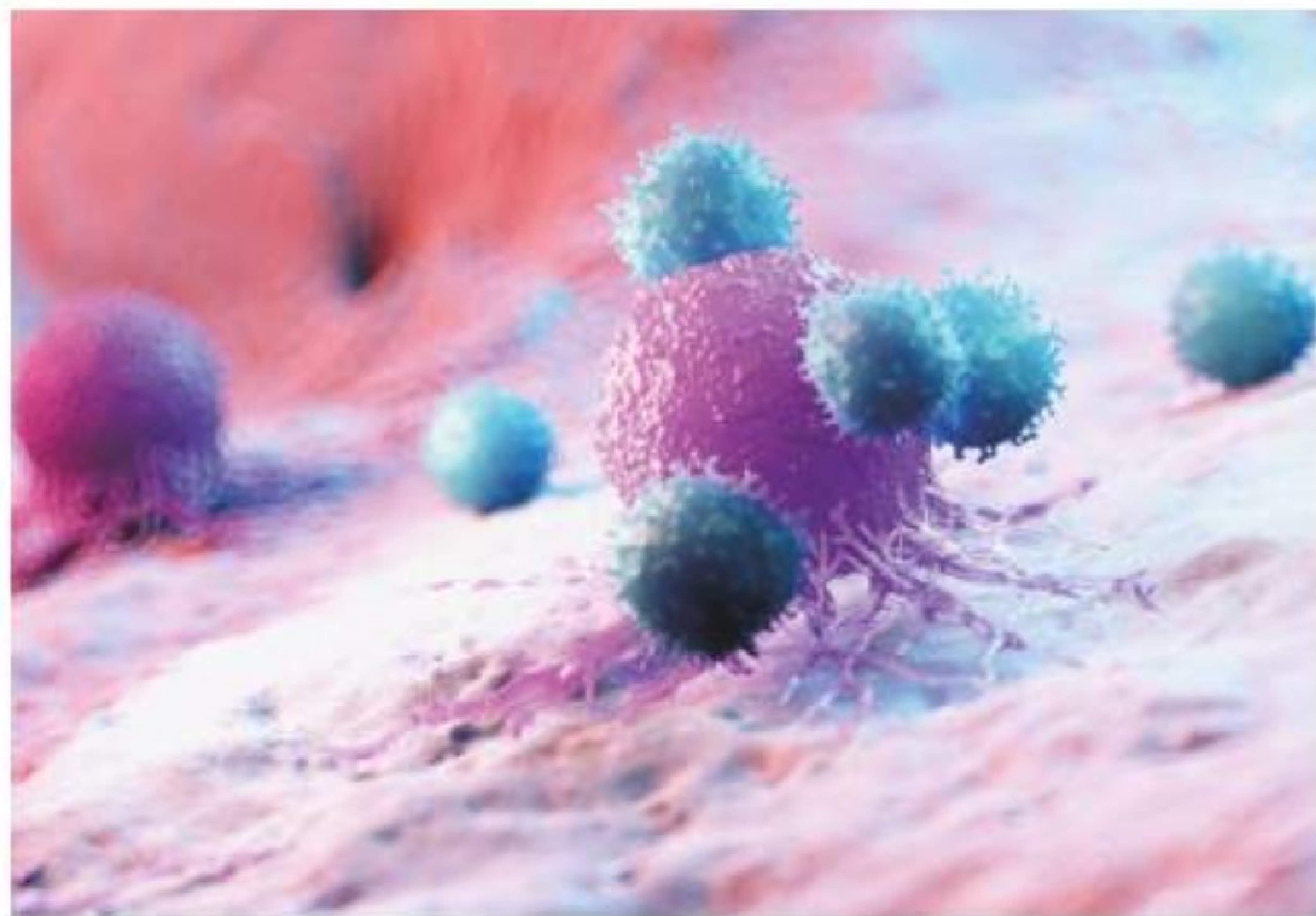
Restait à en faire la démonstration. Les chercheurs ont alors construit une cage métallique de 0,8m x 0,8m x 0,5m, à la géométrie irrégulière. À l'intérieur ils ont placés deux antennes qui émettent et captent une micro-onde de fréquence 2,463 GHz, et également l'objet dont il s'agit de mesurer la position avec la meilleure précision possible. Enfin, l'enceinte contient une métasurface programmable qui permet de faire varier la géométrie de la cage, et ainsi effectuer de multiples mesures avec une seule et même longueur d'onde. Pour interpréter les résultats, un réseau de neurones a été au préalable entraîné sur des exemples connus.

Les scientifiques ont pu montrer que plus les ondes rebondissent, plus elles rencontrent l'objet et plus le dispositif est sensible à des détails inférieurs à la longueur d'onde. Ils ont obtenu une résolution maximale de λ/76 (ici environ 0,15 cm), bien meilleure que la limite de diffraction qui se situe à λ/2.

Des applications peuvent être faites avec tout type d'ondes : de la localisation précise de nanoparticules dans une enceinte (ondes optiques), à celle de personnes dans une pièce (ondes acoustiques), jusqu'à des techniques biomédicales de pointe (comme l'imagerie photo-acoustique). L'équipe de l'IETR, tout en visant une résolution encore plus avancée, étudie son utilisation pour localiser précisément l'impact d'un doigt sur une surface, ce qui serait utile pour des applications du type interface homme-machine. (Source INSIS)

Comment les tumeurs modifient les interactions entre espèces

Chez les organismes multicellulaires, l'émergence et la prolifération de cellules tumorales sont des processus normaux et fréquents, et ce depuis l'apparition de ces organismes à la fin du Précambrien. Ils peuvent d'ailleurs entraîner des pathologies graves, comme des cancers invasifs. Ce phénomène chez la faune sauvage, jusqu'alors peu étudié par les scientifiques, suscite un engouement croissant. En effet, il est responsable de modifications du phénotype de leurs hôtes. Et cela les amène à interagir différemment avec les autres espèces de l'écosystème.



Il est à présent admis que les dynamiques tumorales, comme celles de toutes entités vivantes, sont gouvernées par des processus Darwiniens. D'ailleurs, même s'ils n'évoluent pas toujours vers des formes invasives/métastatiques, les processus tumoraux sont omniprésents chez les métazoaires. Ils pourraient influencer chez ces derniers des variables fondamentales en écologie : les traits d'histoire de vie, les aptitudes compétitrices, la vulnérabilité aux parasites et aux prédateurs, ou encore la capacité à disperser. De quelle façon ? Cela pourrait provenir des conséquences pathologiques des tumeurs, mais aussi des coûts liés au fonctionnement des mécanismes de défenses chez les hôtes.

Des chercheurs, dont certains issus des laboratoires Maladies Infectieuses et Vecteurs : Ecologie, Génétique, Evolution et Contrôle (MIVEGEC) et Littoral, Environnement et Sociétés (LIENSs), ont étudié si les processus cancéreux pouvaient modifier les interactions entre espèces. Ils ont développé un microcosme artificiel (tripartite) qui permet de tester expérimentalement si les individus porteurs de tumeurs, comparativement aux individus sains, entretiennent des interactions différentes avec leurs proies, leurs commensaux et leurs prédateurs.

L'étude a porté sur le cnidaire *Hydra oligactis* (que l'on appellera hydre), une espèce commune dans les écosystèmes aquatiques dulçaquicoles. Il s'agit d'un prédateur de petits invertébrés qui est également une proie pour les poissons et qui peut aussi héberger différents symbiontes. Cette espèce d'hydre peut développer des tumeurs qui modifient

radicalement le phénotype des individus (forme du corps du polype, nombre de tentacules).

Étant donné les différences phénotypiques entre les hydres saines et tumorales, les scientifiques ont supposé que la présence de tumeurs devrait influencer les relations entre les hydres et les autres espèces. Ils ont alors comparé les conséquences des tumeurs sur trois types d'interactions biotiques : la capacité des hydres à attraper des proies, à servir d'hôte à un cilié commensal, et leur vulnérabilité aux prédateurs.

Les chercheurs ont montré que la capacité de prédation des hydres tumorales était augmentée par rapport aux hydres saines (mais il faut dire qu'elles ont un nombre supérieur de tentacules). Egalement que les hydres tumorales sont plus souvent colonisées par les ciliés où ils prolifèrent aussi plus rapidement. Enfin que les hydres tumorales sont plus souvent consommées par les poissons prédateurs.

L'implication écologique des processus oncogéniques mérite donc d'être étudiée de près. En présence d'hydres tumorales, des conséquences pourraient être attendues dans un écosystème, sur le cycle des nutriments, les interactions avec les parasites, etc. Par exemple, en boostant la dynamique de population de leurs ciliés commensaux, les hydres tumorales augmentent probablement le risque que d'autres espèces d'hydres soient aussi colonisées par ce cilié généraliste. (Source INEE)

Une résolution spatio-temporelle inégalée pour observer la lumière

Pouvoir relier les propriétés lumineuses et la structure d'un matériau à l'échelle du nanomètre donne accès à des informations précieuses. Pour la première fois, des physiciens ont mesuré en fonction du temps, à l'échelle de la nanoseconde, la lumière émise sous l'effet des électrons au sein d'un microscope électronique en transmission ultrarapide (UTEM).



En excitant un matériau par des photons ou des électrons, on observe parfois l'émission de lumière : c'est le phénomène de luminescence. L'analyse de cette lumière, et notamment son évolution temporelle, donne des informations précieuses sur ce matériau. Lors d'une excitation par des photons, l'analyse est faite avec une résolution spatiale de l'ordre du micromètre grâce à un microscope optique. En utilisant un microscope électronique à balayage, on peut obtenir une résolution spatiale nanométrique. Dans ce cas, l'excitation est produite par les électrons du faisceau du microscope : c'est le phénomène de cathodoluminescence. Et si l'on utilise un microscope électronique à transmission (TEM), on a accès à la structure atomique du matériau.

Des physiciens ont utilisé le microscope électronique à transmission ultrarapide (UTEM) développé au Centre d'élaboration de matériaux et d'études structurales (CEMES, CNRS) à Toulouse. Grâce à l'insertion près de l'échantillon d'un miroir parabolique de grande ouverture numérique développé au Laboratoire de physique des solides à Orsay (LPS, CNRS, Univ. Paris-Saclay), ils ont recueilli suffisamment de lumière pour enregistrer, pour la première fois, un signal de cathodoluminescence avec à la fois une résolution spatiale de l'ordre de la dizaine de nanomètres et une résolution temporelle inférieure à la nanoseconde !

Les chercheurs ont étudié des agrégats de nanodiamants possédant des défauts cristallins (dits centres NV), dans lesquels un atome d'azote coexiste avec une lacune, c'est-à-dire un atome manquant. Tandis que le diamant parfait est transparent, ces centres sont aussi appelés centres colorés du fait de la couleur

donnée par leur luminescence. Cette luminescence est transitoire et c'est sa durée de vie qui fut plus particulièrement l'objet de l'étude. Celle-ci a été déduite de la mesure en fonction du temps du signal de cathodoluminescence.

Pour ces expériences, le faisceau d'électrons de l'UTEM a été pulsé avec des impulsions d'une durée de 400 femtosecondes grâce à l'excitation de la source d'électrons du microscope, une pointe de tungstène, par un laser femtoseconde, puis focalisé sur un échantillon de nanodiamants.

Le principal défi pour les scientifiques fut de distinguer le signal du bruit. En effet, le courant du faisceau d'électrons pulsé de l'UTEM est bien plus faible que celui d'un TEM conventionnel, ce qui génère une diminution drastique du signal émis par l'échantillon. Aussi les chercheurs ont inséré dans l'objectif de ce microscope un miroir parabolique de grande ouverture numérique afin de collecter efficacement la lumière émise. Ils ont donc cartographié avec une résolution spatiale de 12 nm la durée de vie de l'excitation des centres colorés des nanodiamants (de l'ordre de 20 ns), avec une résolution temporelle inférieure à la nanoseconde.

Mesurer au sein d'un UTEM à la fois la structure atomique résolue spatialement et la cathodoluminescence résolue temporellement est très prometteur. Par exemple pour l'étude de l'émission de lumière dans des nanostructures semiconductrices. Cela s'avère intéressant pour des applications aux dispositifs optoélectroniques comme des photodétecteurs ou des sources de photons uniques. (Source INP)

Les plantes ont un sacré arsenal défensif



Et ce notamment dans leurs racines. Car ce sont elles qui leur permettent de se nourrir et elles ne doivent pas se tromper au risque de s'empoisonner ! Une équipe internationale de chercheurs a découvert comment se régulait la formation de la couche protectrice de ces racines.

Pour se nourrir, les plantes absorbent via leurs racines des éléments nutritifs et de l'eau présents dans le sol. Mais cette absorption doit être sélective, en particulier lorsque l'environnement est toxique pour la plante. C'est la subérine, une substance composée de lipides présente au niveau des racines des plantes, qui joue le rôle de barrière protectrice contre les différents stress de l'environnement.

Une étude précédente de Marie Barberon, professeure au Département de botanique et biologie végétale de la Faculté des sciences de l'UNIGE, a en effet montré que la subérine - constituant principal du liège - peut recouvrir les parois cellulaires, ou à l'inverse être dégradée pour modifier la perméabilité des racines aux nutriments présents dans l'environnement. La couche de subérine protège de cette manière la plante contre les pertes en eau, la présence d'éléments toxiques comme le sel ou le cadmium, mais elle permet aussi d'optimiser l'acquisition des nutriments nécessaires à la croissance.

Mais comment est régulée la présence de la subérine ? Une équipe internationale, dirigée par Marie Barberon, de l'Université de Genève (UNIGE), s'est intéressée à certains régulateurs présents dans l'endoderme, soit la couche de cellules qui entoure les vaisseaux transportant la sève et qui fabrique la subérine. Ils ont employé pour leur étude l'organisme modèle le plus utilisé par les botanistes : l'Arabette des dames. *« Nous avons pu nous servir d'une des caractéristiques de cette plante, la transparence de ses racines, pour observer directement en microscopie la présence ou non de la subérine après coloration, et ainsi identifier les protéines essentielles à sa production »*, note Vinay Shukla, chercheur au Département de botanique et biologie végétale. Ainsi les biologistes ont pu déterminer les 4 principales protéines responsables de la formation de la subérine. Et ils ont ainsi obtenu des plantes dont les racines sont toujours recouvertes de subérine. *« A l'aide de la technique CRISPR/*

Des monstres dans le ciel



© NASA/ESA/HEIC and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA)

Cette immense masse de gaz et de poussière, violente et chaotique, est un rémanent de supernova. Photographiée par le télescope spatial Hubble, l'objet, dénommé N 63A, est le reste d'une étoile massive qui a explosé et qui a éjecté ses couches de gaz dans une région déjà turbulente.

N 63A se trouve dans une zone de formation d'étoiles au sein du Grand nuage de Magellan, une galaxie située à 160 000 années-lumière de notre Voie lactée.

On a longtemps cru que les rémanents de galaxie participaient à la formation d'étoiles lorsqu'ils entraient en collision avec les gaz environnants. Celui-ci est encore jeune, et les collisions brutales qu'il génère détruisent les nuages de gaz plutôt que de les contraindre à s'effondrer pour former de nouvelles étoiles.

Cas9, nous avons aussi généré un quadruple mutant pour ces protéines qui est incapable de produire la subérine », explique Vinay Shukla.

Les chercheurs ont alors cultivé ces Arabettes modifiées dans des milieux avec différentes teneurs en sodium. Cet élément nutritif, contenu dans le sel et nécessaire à la croissance des plantes, peut devenir toxique s'il est présent dans les sols en concentration trop élevée. *« Nous avons observé que les plantes, dont les racines sont continuellement recouvertes de subérine, absorbent moins le sodium que celles qui en sont dépourvues. Au contraire, ces dernières résistent moins bien aux concentrations toxiques »*, souligne Marie Barberon.

Les plantes modifient donc la perméabilité de leurs racines, via la production ou la dégradation de la subérine. Cette découverte des facteurs clés de la régulation de la formation de subérine dans les racines va permettre de disposer d'outils génétiques précieux pour mieux étudier son rôle dans le maintien de l'équilibre en nutriments chez les végétaux, mais également dans la résistance aux stress salins, à la sécheresse ou encore aux inondations.

On peut attendre un impact considérable de ces résultats chez les plantes d'intérêt agronomique : on pourrait à l'avenir sélectionner des plantes qui résistent mieux aux conditions environnementales défavorables.

L'érosion : une des principales menaces pour l'humanité

Et cette érosion est particulièrement élevée dans les zones de montagne ! Pour la première fois, une étude démontre que le développement de l'agriculture et du pastoralisme a entraîné une augmentation par 2 des taux d'érosion des sols dans les Alpes italiennes.



Sur notre planète, les sols sont naturellement dégradés par l'érosion. Ce processus géologique, en déplaçant la matière présente dans les sols et les roches, affecte principalement la zone critique, c'est-à-dire la mince pellicule superficielle de la Terre. Elle est appelée ainsi car elle est le lieu de développement de la plupart des formes de vie terrestres, mais aussi des sociétés humaines.

L'intensité de l'érosion a évolué au cours des âges, en fonction des fluctuations climatiques et de l'utilisation des terres. L'Europe et les Nations Unies ont aujourd'hui classé l'érosion et la perte des sols comme l'une des principales menaces pour l'humanité. Elle a des conséquences par exemple sur la production alimentaire, la qualité de l'eau et la biodiversité.

Des chercheurs de l'Université Savoie Mont Blanc (USMB), de l'Université Grenoble Alpes (UGA), de l'Université de Rouen Normandie (URN), du CNRS et de l'Institut de Physique du Globe de Paris (IPGP) ont étudié les taux d'érosion dans le Nord de l'Italie au cours des deux derniers millénaires. Ils ont pour cela utilisé les sédiments du lac Iseo, un point de convergence des cours d'eau d'un territoire montagneux de 1 777km² que l'on appelle bassin versant. Avec l'érosion, de petites particules se détachent des roches ou du sol et se retrouvent en suspension dans l'eau. Tous les sédiments déplacés lors de l'érosion du bassin versant nord italien se déposent dans le fond du lac. En étudiant les sédiments présents dans le lac, l'équipe a pu démêler le rôle du climat et celui de l'utilisation des terres par les humains dans l'augmentation de l'érosion dans le bassin versant. Et cela en simplifiant en deux parties le bassin versant du lac Iseo en fonction de l'altitude et du type de roches.

De fait, dans la partie de haute altitude, l'érosion est majoritairement due aux avancées et

reculs glaciaires ainsi qu'aux précipitations. Au contraire, dans la partie de moyenne et basse altitude, là où les sociétés humaines ont développé leurs activités depuis des millénaires, les différentes utilisations des sols et les précipitations ont impacté l'érosion. Pour la première fois, cette étude scientifique a donc pu démontrer que l'agriculture, le pastoralisme, l'exploitation de minerai et la déforestation ont provoqué une multiplication par 2 des taux d'érosion au cours des deux derniers millénaires.

La pandémie n'a pas profité aux femmes chercheuses

Elles ont en effet soumis nettement moins de recherches pour publication que leurs homologues masculins... Les inégalités dans le domaine des sciences, déjà constatées en temps ordinaire pour les femmes, se sont accrues avec la crise sanitaire : probablement du fait d'une surcharge de travail combinée à des tâches supplémentaires au sein du foyer familial.



Les recherches scientifiques sont menées conjointement par des chercheurs et chercheuses provenant de différentes institutions. Pour savoir quels sont les acteurs et actrices principales d'une étude, des places leur sont attribuées : le/la premier-ère auteur-e (la personne ayant le plus contribué dans la recherche) ; parfois un-e scientifique junior-e en début de carrière ; le/la dernier-ère auteur-e (la personne senior-e qui chapeaute l'ensemble de la recherche) ; et l'auteur-e de correspondance (la personne centrale de l'étude qui peut répondre à toutes les questions). Ces places sont déterminantes, notamment dans l'évaluation des carrières scientifiques et l'attribution d'éventuelles promotions : le critère du nombre d'articles publiés étant essentiel.

Au cours des deux années précédant la pandémie, les femmes occupaient 46% des places de premier-ère auteur-e, 31,4% celles de dernier-ère auteur-e et 38,9% celles d'auteur-e de correspondance. Les femmes scientifiques étaient donc en infériorité, en particulier dans les places de dernier-ère auteur-e, réservées aux scientifiques seniors.

Une équipe de l'Université de Genève (UNIGE) et des Hôpitaux universitaires de Genève (HUG), en collaboration avec le groupe d'édition BMJ, a voulu savoir si la pandémie avait eu un impact négatif sur la visibilité des femmes scientifiques aux places déterminantes d'auteures : ce qui pourrait nuire à leurs carrières. L'équipe genevoise a analysé les positions d'auteur-es principal-es dans 11 revues du groupe BMJ, soit 63 259 manuscrits soumis entre le 1er janvier 2018 et le 31 mai 2021.

Les résultats sont sans appel : ils montrent une importante chute de la production scientifique menée par des femmes. Durant la première partie de la pandémie (début 2020), on observe une diminution de près de 20% des femmes premières auteures, de 12% des dernières auteures et de 20% d'auteures de correspondance dans les manuscrits traitant du COVID-19. Cela correspond à la période de la mise en place du premier confinement et à la fermeture des écoles. Ce qui laisse supposer des surcharges professionnelles et familiales générant des difficultés pour poursuivre les activités de recherche. Cette perte de visibilité s'est atténuée par la suite, puis est revenue au niveau d'avant la pandémie lors de la reprise progressive des activités.

L'équipe a également constaté que, plus il y a d'auteur-es pour une recherche, moins les femmes y occupent les postes clés. Mais quand la dernière auteure est une femme, il y a deux fois plus de chances que la première auteure en soit une aussi. Enfin, de nettes

différences sont observées également entre pays. Ainsi, en Océanie (principalement en Australie), les femmes représentent 54% et 44% des premières et dernières auteures, contre 51% et 34% en Europe, et seulement 34% et 22% en Chine.

La pandémie a donc permis de mettre en exergue que les femmes ont été moins impliquées dans les recherches scientifiques liées au COVID-19, et qu'elles ont occupé des places moins prestigieuses que leurs collègues masculins. Le risque est un impact négatif sur leur carrière académique. Aussi l'équipe genevoise estime qu'il faudra tenir compte de ces inégalités.
A noter qu'Angèle Gayet-Ageron, professeure au Département de santé et médecine communautaires de la Faculté de médecine de l'UNIGE et médecin adjointe agrégée au Service d'épidémiologie clinique des HUG, est la première auteure de cette étude. Et que Khaoula Ben Messaoud, chercheuse au Département de santé et médecine communautaires de la Faculté de médecine de l'UNIGE, en est la co-première auteure.

Les jeunes et l'exploration martienne

Douze étudiants de première année de l'ISAE-SUPAERO ont réalisé un outil éducatif numérique pour sensibiliser à l'exploration spatiale. Il est exploitable en classe, de la sixième à la terminale.



Faire participer les lycéens et les collégiens à l'exploration martienne, tel est l'objectif de Sylvestre Maurice, astrophysicien à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie (IRAP/OMP - CNRS/Université Toulouse III - Paul Sabatier/CNES). Sous son impulsion, le projet de mallette pédagogique « SuperCam - exploration martienne » a été initié par l'Académie de Toulouse, la Cité de l'Espace, le CNES, le CNRS et l'ISAE-SUPAERO. Il est le fruit d'une collaboration entre élèves ingénieurs, enseignants de collèges et lycées partenaires, ingénieurs, professeurs et chercheurs.

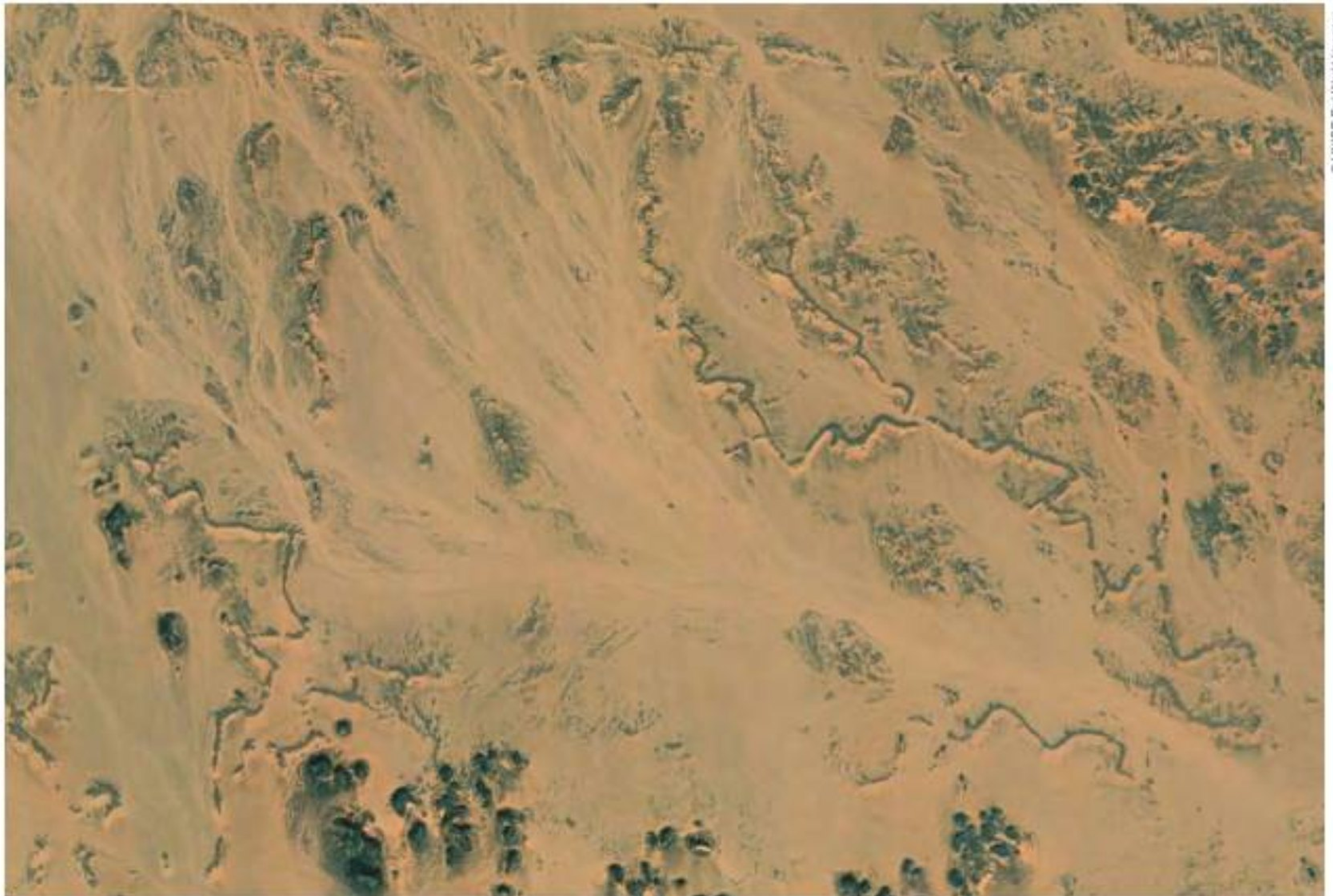
Ce projet a abouti au déploiement national d'une boite à outils pédagogique combinant exercices, expérimentations, quiz, tutoriels, photos, vidéos et présentations interactives sur les grandes thématiques de l'exploration spatiale. La mallette est mise à disposition des enseignants de collèges et lycées dans la rubrique éducative du site du CNES.

La malette pédagogique « SuperCam - exploration martienne » est disponible ici : https://enseignants-mediateurs.cnes.fr/fr/enseignants-et-mediateurs/ressources/mallettes-pedagogiques

Il y a 10 000 ans, le réchauffement climatique...

Nous connaissons actuellement sur Terre une recrudescence d'événements météorologiques extrêmes.
Les scientifiques l'attribuent au réchauffement climatique. Ce qui s'est passé dans le Sahara égyptien il y a 10 000 ans le confirme...

À cette époque, alors que le Sahara égyptien était encore vert suite à une période humide africaine entre 14 800 et 5 500 ans avant notre ère, les populations des rives du Nil ont migré. Pourquoi ? Aujourd'hui, cette région du nord du lac Nasser est aride, ne laissant comme traces de ce passé verdoyant que des rivières fossilisées. Des géologues dirigés par l'Université de Genève (UNIGE) se sont intéressés à ces rivières fossiles, afin de reconstruire la paléo-hydrologie de la région et déterminer le taux de précipitations de cette période humide africaine.



Sur cette image satellite, on distingue les morphologies des rivières fossiles du sud de l'Égypte. Des rivières qui étaient intensément actives pendant la période humide africaine.

Pour reconstruire cette paléo-hydrologie, il faut tout d'abord observer les galets des rivières fossilisées. De gros galets indiquent un important débit d'eau nécessaire pour les transporter. La profondeur et la largeur de la rivière permettent de retracer ce débit d'eau en mètres cubes par seconde. Ensuite, il s'agit de connaître la surface du bassin de drainage, c'est-à-dire la zone qui connecte les eaux en amont de la rivière. Avec ces données, on obtient le taux de précipitation responsable du transport des sédiments étudiés.

Les scientifiques ont également daté les rivières, à l'aide de deux techniques différentes. La première, réalisée en collaboration avec l'ETH Zurich, consiste à dater au carbone 14 la matière organique qui comble la rivière fossilisée. La seconde, nommée Optically Stimulated Luminescence et réalisée avec des spécialistes de l'Université de Lausanne, mesure la luminescence des quartz pour obtenir l'âge du dépôt des sédiments.

Six rivières de la région ont été ainsi datées, confirmant qu'elles étaient principalement actives entre 13 000 et 5 000 ans avant notre ère, donc en pleine période humide africaine. L'étude montre également que les précipitations étaient très intenses, de 5 580 mm par heure, soit 3 à 4 fois plus fréquemment qu'avant la période africaine humide. Cette brusque augmentation d'épisodes de pluies intenses explique pourquoi il y a eu une forte migration des populations riveraines de la région vers le centre du territoire à cette époque. Car les crues violentes des rivières récurrentes rendaient les berges inhospitalières...

Dans le même temps, on a pu observer une augmentation de l'ordre de 7°C des températures de cette région. Cette étude montre donc comment le système Terre se comporte en cas de réchauffement climatique rapide. Nous sommes aujourd'hui dans le même cas de figure : une augmentation des températures entraînant la fréquence des événements de fortes pluies. Étudier la distribution des précipitations sur l'année va devenir un enjeu capital de prévention des risques.

Une solution digitale pour suivre les risques de psychose

Cette solution consiste en une application qui permet de suivre quotidiennement la fréquence et l'intensité des symptômes de personnes à risque de psychose. Elle permet donc d'adapter leur suivi médical et de déterminer la cause de l'apparition des symptômes.



© UNIGE Clémence Feller

L'application mobile, ses résultats et son utilisation dans la vie quotidienne.

3% de la population souffrent de troubles psychotiques : ceux-ci représentent une cause importante d'invalidité chez les adolescents et les jeunes adultes. Il s'agit donc de pouvoir détecter le plus tôt possible les personnes susceptibles de développer ces troubles, notamment durant cette phase dite « à haut risque » de psychose, pour éviter leur aggravation et assurer un suivi adapté.

Pour comprendre les mécanismes de la psychose, les scientifiques suivent des patients souffrant d'une microdélétion du chromosome 22q11.2 : cela fait d'eux une population particulièrement à risque de développer une maladie psychotique comme la schizophrénie. Le suivi est assuré par des tests de contrôle (l'entretien SIPS : *Structured Interview for Psychosis-Risk Syndromes*) menés par des professionnels tous les 3 mois : des tests pas forcément accessibles à tous.

Une équipe de l'Université de Genève (UNIGE) a alors eu l'idée de mettre au point une application permettant de suivre la personne de manière plus régulière et dans son environnement quotidien. Grâce à l'évaluation quotidienne des symptômes, il devient possible de comprendre le fonctionnement d'une personne à risque de psychose dans son contexte familier. L'application pose, durant 6 jours d'affilée, 10 questions sur des affects positifs (êtes-vous heureux ? Relaxé ?), des affects négatifs (êtes-vous triste ? Anxieux ? En colère ?) et sur la présence de symptômes psychotiques (est-ce que votre imagination se mélange à la réalité ? Est-ce que vous devez être sur vos gardes ? Est-ce que vous entendez des choses que les autres ne perçoivent pas ?). Les personnes suivies doivent répondre à ces questions 8 fois par jour, et évaluer leur état sur une échelle allant de 1 (pas du tout) à 7 (extrêmement).

Pour vérifier les résultats concluants de l'application, les participants ont également été évalués au moyen des tests de contrôle classiques. Et les résultats obtenus sont très concordants. Les chercheurs ont constaté également que les personnes ayant des symptômes psychotiques sont tout à fait aptes à répondre quotidiennement aux questions de l'application : une façon d'évaluer de manière complète l'évolution de leurs symptômes au cours d'une journée.

Cette application pourrait donc compléter les tests classiques, permettant d'espacer ces derniers. Les personnes ne viendraient en séances en présentiel que lorsque l'application détecterait une phase de crise. L'application permettrait aussi d'évaluer l'efficacité d'une intervention (psychologique, médicamenteuse, etc…) puisqu'elle surveille la diminution - ou non - des symptômes psychotiques au quotidien. De plus, elle permettra d'identifier les éléments déclencheurs de l'apparition des symptômes chez la personne dans son environnement : un moyen de pouvoir les contrer dans une perspective à long terme.

L'acidification de l'océan : un stress pour les huîtres et les moules

C'est un fait : avec l'augmentation constante de la concentration en CO_2 dans l'atmosphère, l'océan se réchauffe et s'acidifie. Mais quels sont les effets combinés du réchauffement et de l'acidification des eaux côtières sur les huîtres et les moules ? L'Ifremer et le CNRS ont lancé une étude ambitieuse sur ce sujet, CocoriCO2 (la conchyliculture dans un monde riche en CO_2), en suivant plusieurs générations. Le but : anticiper les effets de l'acidification et proposer des mesures d'adaptation à long terme.

Il est établi que les activités humaines sont

A la découverte des astéroïdes troyens



© NASA/Bill Ingalls

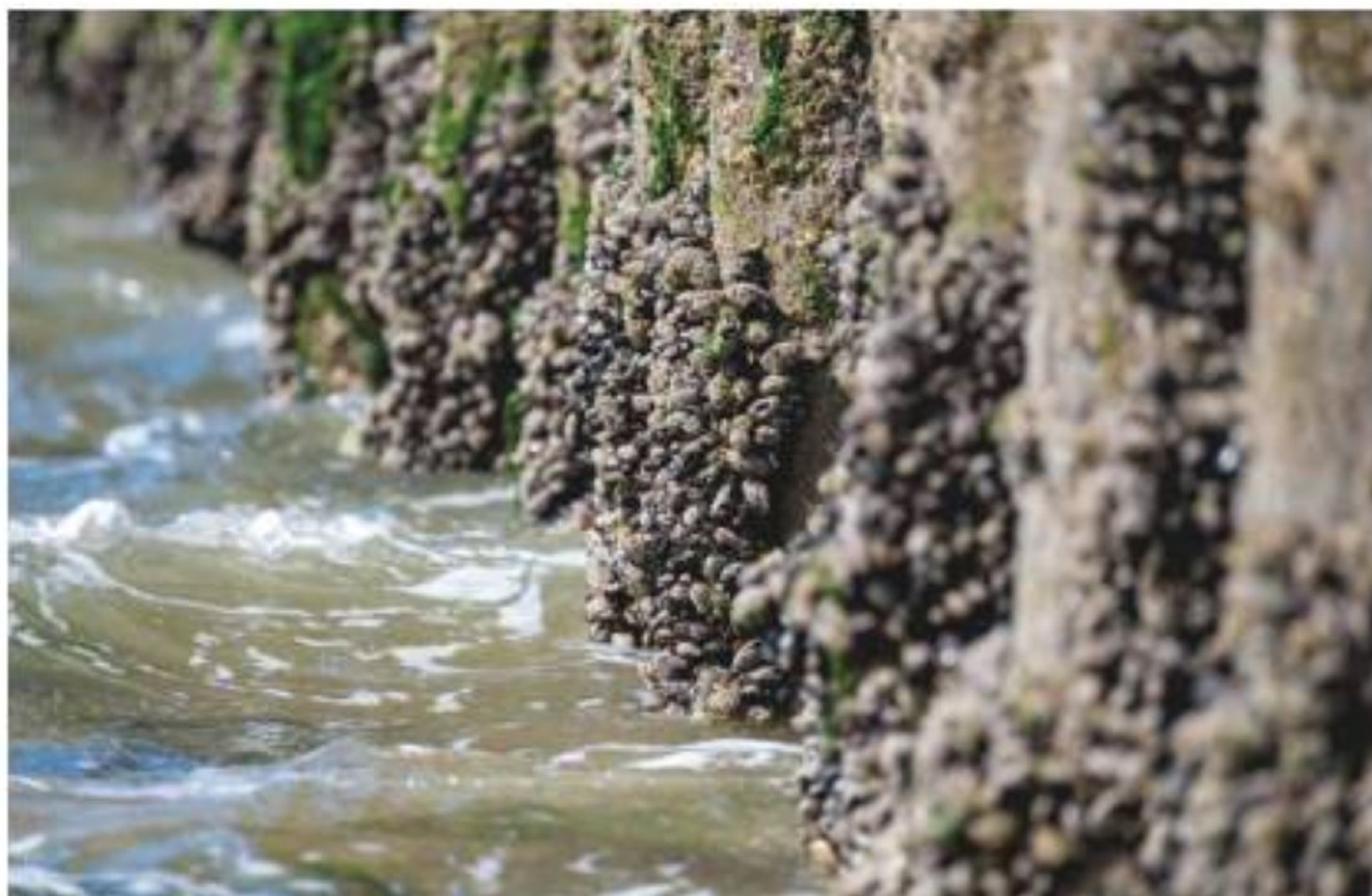
Sur une fusée Atlas V, le vaisseau Lucy est parti le 16 octobre dernier de Cap Canaveral pour étudier les astéroïdes troyens de Jupiter. C'est la première mission de la NASA qui est dédiée à ces milliers objets célestes ainsi nommés car ils portent les noms des héros de la guerre de Troie : Achille, Hector, Priam... Le voyage doit durer 12 ans.

Tout comme l'australopithèque Lucy a révolutionné nos connaissances sur l'évolution de l'humanité, la mission spatiale du même nom devrait nous fournir des renseignements précieux sur l'origine des planètes et la formation du système solaire.

responsables de 90% des rejets de CO2 dans l'atmosphère. L'océan absorbe chaque année 25 % de cet excès de dioxyde de carbone, avec pour conséquences une acidification (de 0,1 unité de pH) et une augmentation de température (de 1°C depuis l'ère industrielle). Cet excès de CO2 dans l'eau de mer provoque aussi une diminution de la concentration en carbonate de calcium. Or c'est à partir de cet élément chimique que le plancton, les coraux, les mollusques (huîtres, moules…) ainsi que beaucoup d'autres organismes marins dits « calcifiants » construisent leur coquille ou leur squelette interne.

Jusqu'ici, seules des études se limitant aux effets à court terme du réchauffement et de l'acidification de l'océan sur une seule espèce avaient été réalisées, sans d'ailleurs tenir compte d'autres facteurs de stress comme la température ou la nutrition. Le projet CocoriCO2 a pour originalité de s'intéresser à l'évolution future du pH et de la température sur plusieurs générations de bivalves et plusieurs espèces maintenues dans des conditions écologiques aussi réalistes que possible. Un précédent projet baptisé AïAïAï a montré en 2019 que les juvéniles d'huîtres creuses peuvent supporter des baisses importantes du pH jusqu'à atteindre un point de bascule physiologique autour de 7,3 : ce qui est bien en deçà du niveau actuel des côtes françaises où le pH varie entre 8,1 et 7,8.

« Après avoir analysé de plus près certaines caractéristiques d'huîtres ayant grandi dans des conditions même peu acides, nous avons découvert que leur coquille était moins épaisse et plus légère, suggérant une moindre résistance à la prédation et aux chocs (vagues ou manipulations conchylicoles) », révèle Fabrice Pernet, chercheur à l'Ifremer spécialiste de la physiologie des organismes marins et coordinateur du projet CocoriCO2. *« Par conséquent, une exposition à long terme à une acidification modérée au-dessus du point de basculement pourrait nuire à la condition générale des huîtres, sans forcément compromettre leur survie. L'impact est plus frappant chez les larves pour lesquelles la survie est compromise en dessous de 7,6. »*



Depuis le début du projet CocoriCO2, en janvier 2020, un réseau de 14 sondes a été déployé près de sites conchylicoles s'étendant du nord de la Bretagne jusqu'à la Méditerranée.

Dans chaque zone, deux sondes sont installées : l'une près de la côte et l'autre plus au large, afin d'observer les différences de pH. *« Il s'agit du premier réseau de suivi de l'acidification des eaux côtières et conchylicoles en France »*, se réjouit Frédéric Gazeau, chercheur au CNRS au Laboratoire d'océanographie de Villefranche (CNRS/Sorbonne Université), également coordinateur scientifique du projet CocoriCO2. *« Grâce à de précédentes mesures, nous savons que le milieu côtier est plus vulnérable à l'acidification. Son pH est beaucoup moins stable qu'au large, variant au fil des saisons (de 7,8 à 8,1) et de la journée. Pourtant, les modèles climatiques actuels sont fondés sur des mesures de pH effectuées au large. »* Il faut donc impérativement *« suivre le pH des sites conchylicoles pour évaluer leur vulnérabilité vis-à-vis de l'acidification et ainsi établir des projections réalistes. »* Grâce aux données de pH haute-fréquence récoltées, les scientifiques connaîtront l'évolution de la composition chimique des eaux côtières, et notamment leurs taux d'aragonite, un minéral indispensable pour la formation de la coquille des mollusques.

Deux stations expérimentales ont été installées à Porscave (Finistère) au sein du centre technique conchylicole du CRC Bretagne-Nord, et en Méditerranée à Mèze (Hérault). Dans ces deux bassins, des huîtres creuses, des huîtres plates et des moules sont maintenues dans des conditions de température et pH prévues par le GIEC en Atlantique et Méditerranée pour 2050, 2075 et 2100. Le cycle des marées est reproduit, et le phytoplancton pour alimenter les animaux provient du milieu naturel :ce qui permet d'être proche de la réalité. L'objectif est d'analyser pendant 3 ans la croissance, la survie, la physiologie, la qualité des coquilles et la valeur nutritionnelle des coquillages.

Ces études à long terme aideront à déterminer les capacités d'acclimatation et d'adaptation des bivalves au fil des générations. Des enquêtes menées auprès des conchyliculteurs permettront d'évaluer leur perception du risque lié à l'acidification. En parallèle, plusieurs pistes de solutions pour réguler le pH seront testées en laboratoire, puis en conditions réelles sur les sites conchylicoles. Parmi elles, l'utilisation de macro-algues communément trouvées sur l'estran et de produits issus de déchets coquillés pourraient aider à rendre le milieu plus alcalin (basique) et remédier localement à l'acidification océanique.

La passion de la presse

80 magazines passionnants à prix réduits

De 40% à 60% d'économie sur le prix d'abonnement





















Lafont presse

Groupe média indépendant fondé en 1984 à partir du magazine *Entreprendre*, et qui développe une gamme de magazines à forte affinité.

chez votre marchand de journaux ou sur www.lafontpresse.fr

CADEAU un abonnement offert en prenant 3 abonnements

ABONNEZ-VOUS AUX MEILLEURES CONDITIONS

ECONOMIE
- ❒ Entreprendre 12 n° 65€
- ❒ Manager et réussir 10 n° 71€
- ❒ Création d'entreprise mag. 10 n° 47€
- ❒ Spécial Argent 12 n° 55€
- ❒ C'est votre argent ! 10 n° 54€
- ❒ Nouvel agriculteur 6 n° 119€

PASSION
- ❒ Spécial Chats 10 n° 71€
- ❒ Spécial chiens 10 n° 71€
- ❒ Pêche magazine 10 n° 55€
- ❒ Chasse magazine 10 n° 55€
- ❒ France Patrimoine 8 n° 119€

AUTO
- ❒ L'essentiel de l'auto 10 n° 39€
- ❒ Automobile revue 10 n° 71€
- ❒ Auto magazine 10 n° 15€
- ❒ Automobile Verte 10 n° 71€
- ❒ Auto Souvenir 10 n° 71€
- ❒ Le magazine de l'aviation 10 n° 102€
- ❒ L'essentiel du Drone 10 n° 78€

CUISINE
- ❒ Cuisine revue 10 n° 31€

CULTURE/INFORMATION
- ❒ Science Magazine 10 n° 47€
- ❒ L'Essentiel de la science 10 n° 71€
- ❒ La revue de la science 10 n° 71€
- ❒ Question de Philo 10 n° 71€
- ❒ L'Evènement magazine 10 n° 54€
- ❒ Spécial Histoire 10 n° 78€
- ❒ Magazine des Arts 10 n° 102€

FÉMININ SANTÉ PSYCHO
- ❒ Santé Revue 10 n° 39€
- ❒ Santé Info 14 n° 82€
- ❒ Féminin Senior 14 n° 82€
- ❒ Le magazine des femmes 10 n° 23€
- ❒ Féminin Psycho 10 n° 54€
- ❒ L'Essentiel de la Psycho 10 n° 55€
- ❒ Santé revue seniors 10 n° 55€
- ❒ Féminin Santé 10 n° 52€
- ❒ Spécial Femme 14 n° 15€

PEOPLE
- ❒ Journal de France 14 n° 58€
- ❒ Intimité 10 n° 32€
- ❒ Paris Confidences 12 n° 15€
- ❒ Célébrité magazine 10 n° 55€
- ❒ Souvenirs souvenirs 10 n° 40€
- ❒ Reines & Rois 10 n° 47€
- ❒ Royauté 10 n° 54€

SPORT
- ❒ France Basket 8 n° 54€
- ❒ Cyclisme magazine 10 n° 55€
- ❒ Le Sport (spécial) 10 n° 55€
- ❒ Rugby magazine 10 n° 47€
- ❒ Le Foot (mensuel) 14 n° 46€
- ❒ Le Foot Lyon (magazine) 10 n° 47€
- ❒ Le Foot Paris (magazine) 10 n° 55€
- ❒ Le Foot magazine 10 n° 39€
- ❒ Auto sport magazine 10 n° 102€

MAISON & DÉCO-JARDIN
- ❒ L'Essentiel de la Déco 10 n° 46€
- ❒ Special Déco 10 n° 52€
- ❒ Maison Décoration 10 n° 68€
- ❒ Jardiner 10 n° 38€
- ❒ Potager pratique 10 n° 55€

VIE PRATIQUE
- ❒ Stop Arnaques 10 n° 31€

DEVENEZ ACTIONNAIRE

Entreprendre (*Lafont presse*), groupe indépendant éditeur de 60 magazines publiés en kiosques, est côté sur *Euronext Paris* (code ALENR). Participez à son développement.

Profitez de notre offre !

❒ **Oui**, je m'abonne au(x) magazine(s) suivant(s) :

Magazine 1 : .... €
Magazine 2 : .... €
Magazine 3 : .... €
Magazine 4* : .... €

* Le 4ème magazine est offert si vous souscrivez à 3 abonnements

Total de ma commande : .... €
Nom ....
Prénom .... Date de naissance ....
Adresse ....
....
Code postal .... Ville..................................
Courriel |_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

Ci-joint mon règlement à l'ordre de Lafont presse *par :*
❒ chèque bancaire ou postal
❒ carte bleue Visa
n° |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_|
Expire le |_|_| |_|_|
Important, je note les 3 derniers chiffres du numéro inscrit au dos de ma carte bancaire : |_|_|_|

Signature obligatoire :

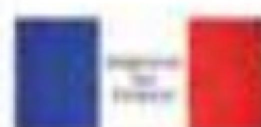
Lafont presse (Entreprendre est coté en bourse sur Euronext Paris - code ALENR)

120 magazines à découvrir sur www.lafontpresse.fr

Entreprendre (Lafont presse)

Bulletin d'abonnement ci-dessus à renvoyer accompagné de votre règlement à :

53, rue du Chemin Vert - CS 20056 -
92772 Boulogne Billancourt Cedex



Vous pouvez aussi nous renvoyer votre bulletin par courriel : abo@entreprendre.fr
(paiement par carte bancaire)



Tarifs France Métropolitaine, étranger et Dom-Tom + 2€ par revue servie

** Photo non contractuelle dans la limite des stocks disponibles. Conformément à la loi « informatique et libertés » du 6 janvier 1978 modifiée en 2004, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification aux informations qui vous concernent. Vous pouvez accéder aux informations vous concernant, les rectifier et vous opposer à la transmission éventuelle de vos coordonnées en cochant la case ci-contre : ou en adressant un courrier libre à Lafont presse - 53, rue du Chemin vert - CS 20056 - 92772 Boulogne Billancourt Cedex.

Jusqu'où vont mon



ter les océans ?



Impossible d'en douter aujourd'hui : le niveau des mers s'élève à un rythme relativement rapide, menaçant de larges portions de côtes. Mais calculer comment la mer va monter aux différents endroits du globe est beaucoup plus complexe qu'il n'y paraît.

Lors de l'édition 2021 des rencontres Cosquer qui a eu lieu au MUCEM, à Marseille, sous le patronage d'Édouard Bard, membre de l'Académie des sciences, des chercheurs français ont partagé leurs connaissances sur les enjeux de la montée des mers. Rappelons qu'à la Villa Méditerranée, tout à côté, ouvrira cette année la réplique de la grotte Cosquer dont l'original, au large de Marseille, est engloutie par 37 mètres de fond : elle est donc témoin du réchauffement climatique et de la montée des eaux passée, s'étalant sur un temps très long car liée cette fois à des phénomènes naturels. *« Lors de la dernière grande glaciation, il y a entre 20 000 et 30 000 ans, le rivage se situait à plus de 20 km de Marseille et le niveau de la mer était près de 130 mètres plus bas qu'aujourd'hui »* explique É. Bard. Les températures étaient bien plus froides qu'actuellement : les pingouins sur les parois de la grotte nous le rappellent. À cette époque, d'énormes calottes de glace, de 3 à 4 km d'épaisseur, recouvraient une partie des continents.

A Marseille, le niveau des mers est étudié depuis 1884 ! *« Ce qui a permis d'obtenir une des séries marégraphiques les plus longues du monde »* souligne É. Bard. On a pu observer ainsi une élévation de 20 cm depuis un siècle. Les autres marégraphes répartis aujourd'hui en un réseau sur la planète et, depuis les dernières décennies, les satellites altimétriques effectuent des observations, constatant une augmentation actuelle de plus 3 mm par an. Mais celle-ci va en s'accélérant...



Si le Groenland fond entièrement, les océans s'élèveront de 7 mètres.

150 millions de réfugiés climatiques dans 30 ans

Depuis 1993, on voit très nettement que l'élévation du niveau marin s'accélère : de 2 mm par an à cette époque, elle est de l'ordre de 4 à 5 mm sur les dernières années. Alors que l'augmentation au cours du 20e siècle était estimée à 20 cm, la mer est montée de 10 cm depuis 1990, ce qui illustre l'accélération.

Les données obtenues grâce aux satellites complètent aujourd'hui efficacement celles des marégraphes situés sur les côtes. *« On peut ainsi observer ce qui se passe en pleine mer, sur l'ensemble des océans, avec des mesures très précises non contaminées par les mouvements de la croûte »* explique Anny Cazenave, chercheur au Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse).

Le Groenland a perdu 4000 milliards de tonnes de glace depuis 2002.

Les satellites ont montré aussi que le niveau de la mer ne monte pas de manière uniforme : il s'élève plus dans l'hémisphère sud, le Pacifique tropical Ouest, certaines parties du nord du Pacifique et de l'Atlantique. Par exemple, dans le Pacifique tropical Ouest, la vitesse est multipliée par 3 par rapport à la moyenne globale. Depuis 30 ans, au lieu de 10 cm, la mer y est montée de 25 à 30 cm. Ce qui fait beaucoup dans ces régions dominées par des îles basses (atolls, etc.).

Quelles sont les causes principales de l'augmentation du niveau marin ? Elles sont bien connues aujourd'hui. *« Ce sont la dilatation thermique des océans (l'eau se dilate car la mer se réchauffe) et les apports d'eau douce provenant de la fonte des glaciers continentaux et des calottes polaires. »*
Pour mesurer la contribution de la dilatation thermique sur l'ensemble des océans, le programme international Argo mesure la température et la salinité jusqu'à 2000 m de profondeur avec 3900 flotteurs. Pour les glaces, la mission révolutionnaire GRACE de la NASA, en orbite depuis 2002 et composée de deux satellites qui se suivent, mesure toutes les redistributions de masse de la Terre. Et notamment le phénomène de rebond isostatique (cf ci-après). Et cette perte de masse de glace continue : le Groenland a perdu 4000 milliards de tonnes de glace depuis 2002, et l'Antarctique un petit peu moins. Ils seraient à environ 60% responsables de l'élévation du niveau des océans.

Comment la mer va-t-elle continuer à monter ? Tout dépend des scénarios futurs d'émissions de gaz à effet de serre. Le sixième rapport du GIEC du 8 août 2021 a revu ses projections précédentes sur le climat. Le scénario le plus optimiste implique de respecter le zéro émission à partir de 2050-70, comme prévu par l'Accord de Paris de 2015 sur le climat. Mais cela suppose que l'on ait atteint aujourd'hui un pic d'émission, ce qui est peu probable. Si l'on continue donc à émettre comme actuellement, le niveau de la mer augmentera de 85 cm



voire 1 mètre d'ici la fin du siècle. Et si les calottes polaires devenaient instables (comme on l'observe sur une partie de l'Antarctique), le niveau de la mer sera bien supérieur : 2 m à 2,50 m en 2100. Comme nous le verrons par la suite, ce niveau marin va plutôt baisser autour des calottes glaciaires et augmenter beaucoup dans les zones tropicales.

Un mètre, cela a peu d'impact au milieu d'un océan. Mais les régions côtières sont menacées, et c'est là que vit une grande partie de la population mondiale. Selon les prévisions du GIEC, 150 millions d'habitants en 2050 et 230 millions en 2100 seront exposés à des inondations permanentes, tandis que 300 millions en 2050 et 390 millions en 2100 seront exposés à des inondations temporaires à récurrence annuelle.

D'autant qu'il faut considérer l'apport d'eau douce par les fleuves, les tempêtes, l'érosion, le stress des activités humaines : cela modifie la morphologie des côtes et la superposition de tous ces phénomènes aggrave la situation. Dans bien des régions, ce n'est pas l'augmentation du niveau marin qui domine mais la baisse des sols liée aux activités humaines (le pompage pour l'alimentation en eau dans les mégalopoles, par exemple). Ainsi Jakarta s'enfonce de 26 cm par an !

Une élévation des océans d'1 mètre...

...mettrait par exemple la moitié de la Camargue sous les eaux. 10% de la population mondiale est concernée par la hausse du niveau marin : elle vit à une altitude de moins de 10 mètres. Et les principales mégalopoles de la planète seront les pieds dans l'eau.



Une grande partie de la population mondiale vit au bord de l'eau.

Lorsque l'océan était 130 mètres plus bas...

Il y a 20 000 ans, les calottes glaciaires étaient bien plus étendues qu'aujourd'hui. Dans l'hémisphère nord, il ne reste quasiment que le Groenland alors qu'à l'époque tout le nord de l'Amérique était recouvert par la calotte du Laurentide et le nord de l'Eurasie par celle de la Fennoscandie. Jusqu'à 4 km de glace pesaient sur ces zones et le niveau des mers était près de 130 m plus bas qu'actuellement.

Pour comprendre comment va s'élever le niveau des océans, il faut étudier les calottes glaciaires. Et la glaciologue Catherine Ritz, directrice de recherche CNRS à l'IGE (Institut des Géosciences de l'Environnement à Grenoble), explique combien ces calottes glaciaires et leur évolution sont complexes.

Pour reconstruire le niveau marin du passé, il faut savoir tout d'abord que la quantité d'eau sur Terre est constante, mais aussi la fraction d'isotopes lourds sur la planète. Et les calottes ont une composition appauvrie en isotopes lourds de l'eau, donc l'océan se trouve enrichi lors d'une glaciation. En étudiant les coquilles des animaux (leur composition isotopique) en surface et au fond des mers grâce aux carottes marines, on peut par conséquent analyser la composition isotopique des océans et relier à la quantité d'eau dans ces derniers.

Cette quantité d'eau diminue donc lors des glaciations, alors que se forment les calottes glaciaires. À noter qu'il existe une ligne d'équilibre en dessous de laquelle la neige qui tombe dessus ne deviendra pas de la glace pérenne. Et cette ligne d'équilibre varie en fonction de l'insolation, et donc de la latitude (1 degré pour 1 degré de latitude). Tant que le climat reste froid, la glace s'écoule et la calotte peut s'étendre.

Lorsque la calotte glaciaire grossit, le continent situé en dessous s'enfonce (du tiers de l'épaisseur de la calotte) et cela crée un bourrelet sur les côtés. Quand la calotte fond (ce qui se produit toujours de manière non

Si tout le Groenland fondait, la mer s'élèverait de +7 mètres, tandis que la partie instable de l'Antarctique de l'Ouest ferait s'élever les océans de +5 mètres.



Voici à quoi ressemblait l'Amérique du Nord il y a 20 000 ans.

linéaire), le continent va remonter, avec un temps de décalage. Si la calotte diminue trop, elle se trouve à un moment en dessous de sa ligne d'équilibre et elle ne peut donc plus se reformer même s'il neige. *« C'est ce qui s'est passé apparemment dans l'hémisphère nord lors de la dernière déglaciation pour les calottes du Laurentide et de Fennoscandie qui ont disparu. D'immenses lacs sont restés, qui ont provoqué à certaines périodes des inondations catastrophiques. C'est la grosse crainte pour le Groenland dans le futur »* note C.Ritz.

La mer monte, mais certains continents aussi



La fonte de l'Antarctique est-elle évitable?

Ce cycle, que l'on appelle cycle d'isostasie (soit l'équilibre des différents points de l'écorce terrestre) n'est pas fini : il dure plusieurs milliers d'années. Le Laurentide et la Fennoscandinavie sont toujours en train de remonter, tandis que le bourrelet à l'extérieur de la calotte redescend.

D'autre part, le champ de gravité sur Terre dépend de la répartition des masses. Et donc la fonte d'une calotte glaciaire modifie le champ de gravité de la Terre et la répartition géographique du niveau des mers. *« Ainsi, si l'Antarctique s'effondre, le niveau des mers va baisser localement. Par contre, à l'autre bout de la Terre, cette masse d'eau sera là. De la même façon pour le Groenland. »* En fait, le niveau des mers est un phénomène extrêmement compliqué *« parce qu'il y a un changement de masse, un changement de volume avec l'expansion thermique (l'eau plus chaude prend plus de place pour une même masse), et de plus le « récipient » change de forme, remonte ou descend, et on a un changement de forme du champ de gravité. »* Aussi, quand on évalue un niveau des mers à un endroit donné, ce n'est pas représentatif d'un niveau global, cela dépend notamment si l'on est près ou loin d'une calotte glaciaire.

Un modèle a été récemment publié, retraçant l'évolution sur les derniers 80 000 ans des volumes de glace et du niveau des mers (à des endroits éloignés des calottes glaciaires). On observe que le Laurentide, au maximum de

« La dernière fois que la Terre a connu le même niveau de CO_2 qu'aujourd'hui, c'était au dernier interglaciaire. Il faisait à peine plus chaud qu'aujourd'hui, mais les mers étaient plus hautes de 6 à 20 m par rapport au niveau actuel. »

Catherine Ritz,
glaciologue au CNRS.

sa glaciation il y a 22 000 ans, fut le principal contributeur à l'évolution du niveau des mers, avec une fin de la déglaciation il y a 7 000 ans. La Fennoscandie a eu une histoire bien plus chahutée, avec un déplacement de la calotte suivant les époques, avançant sur les Iles Britanniques par moment, et a déglacé jusqu'il y a 10 000 ans.

Que se passe-t-il concrètement sur les bords marins ? Lorsque la calotte fond, les glaciers arrivés à la côte flottent sur la mer. C'est ce qui arrive actuellement en Antarctique. Si l'ice shelf (l'immense plate forme de glace flottante) s'épaissit, il peut finir par se poser. La base de la calotte se trouve alors sous le niveau de la mer. Si la pente du socle est rétrograde, le flux de glace va augmenter et cela va vider la calotte. *« C'est le principal danger pour l'Antarctique de l'Ouest, on a même vu des endroits où cela a commencé. L'Antarctique de l'Ouest aura disparu dans 5 000 ans probablement. »*
Une bonne partie du socle de l'Antarctique est en effet sous le niveau des mers. *« On a longtemps pensé que l'Antarctique de l'Est était stable mais ce ne serait pas le cas. Il risque donc de suivre le même processus, même si cela mettra plus de temps à arriver (car il devrait notamment y neiger un peu plus dans l'avenir). »* Au bord de la mer de Barents et en baie d'Hudson, on constate la même instabilité des calottes.

Donc les calottes glaciaires, élément clé du système Terre, ont un rôle crucial. Le niveau des mers reflète la masse de glace stockée dans les calottes mais leur impact n'est pas simple à étudier du fait de l'isostasie, du changement du champ de gravité et des effets thermiques.

Des preuves concrètes



La Hollande continue à descendre depuis la déglaciation.

Quelles preuves avons-nous de la montée du niveau de la mer depuis le dernier maximum glaciaire (20-21 000 ans) ? Au CEREGE (Centre de Recherche et d'Enseignement de Géosciences de l'Environnement) d'Aix-en-Provence, les scientifiques travaillent depuis une trentaine d'années sur le sujet. Édouard Bard, Professeur au Collège de France et chercheur au CEREGE, nous livre les découvertes faites avec leurs « machines à remonter le temps » (spectromètre de masse dédié au carbone 14 ou à l'uranium-thorium, etc.).

Pour déterminer les fluctuations du niveau marin, on utilise des marqueurs biologiques retrouvés à l'état fossile et que l'on peut dater : récifs coralliens, terrasses coralliennes, trottoirs algaires, micro-atolls de Porites. *« Ces organismes synthétisent de la pierre, du carbonate de calcium : on va donc les retrouver en carottages ou en prélevant directement des échantillons. »* Par exemple, les coraux fonctionnent en symbiose avec des algues. Ces dernières vivent en surface car elles ont besoin de lumière pour la photosynthèse. Les coraux vont par conséquent suivre le niveau marin pour rester également en surface.

Autres grandes évidences de la fluctuation du niveau marin : les encoches marines. Par exemple, sur la côte italienne, au nord et au sud de Rome, à 7 m au-dessus du niveau marin actuel, on peut observer une encoche sur la falaise qui correspond à -125 000 ans (le dernier interglaciaire). Cette datation a été obtenue grâce aux coquillages typiques qui y sont fossilisés.
Le CEREGE a d'abord travaillé aux Caraïbes, et depuis 25 ans en Polynésie pour reconstituer le niveau marin à Tahiti. Le forage de récifs coralliens, avec ses carottages, y montre la remontée du niveau marin. De 120 m en dessous du niveau actuel au dernier maximum glaciaire il y a 20 000 ans, il s'est élevé progressivement. Une augmentation pas régulière, avec des accélérations, parfois d'1 millimètre par an, parfois de 40 à 50 mm par an. Tous les enregistrements montrent une

accélération il y a 15 000 ans, dû à la dynamique de fonte de la calotte Laurentide. Ces enregistrements sont les mêmes en Barbade par exemple ou en Nouvelle-Guinée. Puis le niveau s'est stabilisé depuis environ 6 000 ans.

On a pu également estimer que l'entrée de la grotte Cosquer a été fermée vers -10 000 ans. Dans la mer près de Marseille, il n'y a pas de coraux marins mais des trottoirs algaires, des formations d'algues rouges qui restent à fleur d'eau. Des fossiles sont présents à différentes profondeurs. On observe une remontée de l'ordre de 1 m à 1,50 m sur les derniers 4-5 000 ans, équivalant à 0,3 mm par an, soit 10 fois plus faible que la fluctuation observée aujourd'hui par satellite. Il faut donc mettre en parallèle les différentes observations qui ne concordent pas toujours.

Les micro-atolls vivent aussi au raz de l'eau et permettent d'obtenir une grande précision sur le niveau marin : des micro-atolls de Polynésie fossilisés ont été datés, montrant que depuis 4 à 5000 ans, le niveau des mers baisse au contraire d'1 mètre.

Rien à voir donc avec les conclusions recueillies à Marseille, mais il y a à cela une explication. La Terre se déforme, tout n'est pas homogène. Comme nous l'avons dit précédemment, la calotte de glace posée sur un continent crée une dépression, tandis qu'un bourrelet périglaciaire se forme autour. Quand la calotte fond, même si cela s'effectue rapidement, la Terre est plus lente à se remettre en forme. Et toute la planète, même dans les zones éloignées des calottes, est affectée par ces changements de morphologie : *« c'est le phénomène de réajustement isostatique post-glaciaire qui se poursuit encore aujourd'hui. »*
En Amérique du Nord, la Terre remonte d'1 cm par an au Canada, et baisse au contraire aux États-Unis. Même chose pour la Scandinavie qui remonte, tandis que toute la zone du bourrelet périphérique descend (la Hollande par exemple, ce qui double les problèmes puisque la région est déjà en dessous du niveau de la mer). Ces changements sont liés à la remise en forme de la Terre, avec la mémoire de la glaciation.

Comme nous l'avons dit, le rebond isostatique post-glaciaire affecte aussi le champ de gravité terrestre. Le couple de satellites gravimétriques GRACE de la NASA (qui étudient le champ de gravité à partir des masses qui pèsent sur la Terre) mesure cela : *« on voit une augmentation de la masse au niveau de la calotte du Laurentide, qui ne correspond pas à une augmentation de la calotte bien sûr mais au flux centripète dans le manteau terrestre qui se remet en forme, et une perte de la masse actuellement suite à la fonte des glaciers du Groenland et de l'Alaska. »*

Toutes ces données permettent de reconstituer l'évolution du niveau de la mer moyen global directement lié au volume d'eau dans l'océan. *« Mais il n'y a pas un trait de côte où on peut le reconstituer, il faut compiler toutes les modélisations. »* Cependant les résultats peuvent différer de plusieurs mètres...

L'océan s'élève, mais la Terre bouge

Suite à la dernière glaciation, la Terre se remet en forme : les continents qui étaient situés sous les calottes glaciaires remontent encore aujourd'hui, ceux situés sur le pourtour redescendent. Il faut prendre en compte ce rebond isostatique post-glaciaire qui affecte le champ de gravité actuel. Et donc faire des corrections lors des simulations pour tenir compte de ce rebond et des changements de masse sur Terre.

Les traces de la dernière glaciation

La paléo-environnementaliste Cécile Miramont (Maître de conférences Aix Marseille Université, Avignon Université, CNRS, IRD, IMBE) explique comment il est possible d'observer aujourd'hui des témoignages de la dernière glaciation et de ses suites. Elle a plus particulièrement étudié les paysages provençaux.

L'environnement de la grotte Cosquer était alors très différent de l'actuel, puisque l'entrée de la grotte est aujourd'hui à 37 mètres sous le niveau de la mer. Le climat était beaucoup plus froid et plus sec qu'aujourd'hui. Le sol était recouvert d'une steppe froide et les collines provençales étaient vraisemblablement recouvertes de neige permanente. Les Alpes étaient blanches avec de grands glaciers et de larges fleuves de glace remplissant les vallées : seuls les sommets émergeaient.

« La Durance ne se jetait pas dans le Rhône mais dans la Méditerranée par un grand delta : la plaine de la Crau », où l'on retrouve les grands galets apportés par le fleuve devenu aujourd'hui rivière. *« On peut observer les traces du glacier de la Durance jusqu'à Sisteron »* grâce aux moraines (les sédiments transportés par le glacier). Des blocs erratiques, blocs de granite sur un substrat calcaire, ont également été retrouvés près de Gap et sur la Mer de Glace, transportés par les glaces. *« Ces blocs sont à l'origine de la découverte des climats du passé et des glaciations. »* Autrefois, les scientifiques se demandaient comment ces blocs énormes avaient pu être déplacés jusque-là. Les glaciers ont aussi poli les roches, et ceci est un autre témoignage de leur présence. Dans les paysages actuels, on retrouve donc toutes les traces de ces glaciers : les vallées en auges avec des moraines, des ombilics devenus lacs (lac d'Allos, tourbière du Laus...), des verrous glaciaires devenus gorges. Les demoiselles coiffées sont d'anciennes moraines des glaciers démantelées par l'érosion actuelle.
En dehors des glaciers, les sols étaient gelés dans les Alpes avec la présence de permafrost,



Il y a 20 000 ans, Marseille était à 20 km de la mer!

ou pergélisol : *« ce qui donne des sols polygonaux lorsque le sol gonfle sous l'effet du gel et expulse latéralement les caillous qu'il contient. »* On en retrouve dans les Alpilles. Un paléo-mistral balayait alors les paysages : il y en a des traces sur le versant nord des Alpilles. Le sable de la steppe peu protégée par la végétation était projeté sur le versant sud. Et effectivement, des champs de dunes fossiles servent de carrière dans les Alpilles.

« Pendant la période glaciaire, le climat n'était cependant pas homogène : il y a eu des interstades plus tempérés. » La végétation pouvait alors se développer. Dans la dépression de Saint Maximin, les archéologues de l'Inrap (l'Institut national de recherches archéologiques préventives) ont ainsi découvert les traces d'un lac. C'était l'époque où Sapiens est venu remplacer Neandertal.

Puis la déglaciation a transformé les paysages et le niveau de la mer est remonté rapidement. Dès que les glaciers ont fondu, les hommes ont fait très tôt des incursions en montagne et les plus vieux outils retrouvés en Provence datent de 17 à 19 000 ans (dans la vallée de Freissinières). Des carottages dans le lac d'Allos (le plus grand lac d'altitude européen, situé dans le parc du Mercantour) montre bien qu'il n'existait pas il y a 20 000 ans mais qu'un glacier occupait la vallée. Les températures et les précipitations ont augmenté, une végétation pionnière s'est installée et s'est densifiée peu à peu : une forêt dense de sapins était présente sur les versants il y a 8 à 9000 ans.

La vie s'est alors développée dans le lac, comme on peut l'observer avec des sédiments plus verts sur les carottages. Il y a 6500 ans, l'analyse des pollens montre que la forêt commence à être défrichée : c'est le début du pastoralisme. Au début de notre ère, la forêt disparaît. Elle renaît au début du 20e siècle suite à la diminution de la pression pastorale. Une mosaïque de paysages riches en biodiversité apparaît mais l'écosystème lacustre est dégradé notamment depuis la construction d'un refuge touristique au bord du lac.

Donc les pâturages, la pêche, le tourisme influent sur les paysages. Les données du passé servent aux gestionnaires de la nature pour décider de la protection et de la restauration de l'environnement, tout en n'ayant pas obligatoirement pour objectif de revenir en arrière : l'homme doit pouvoir y habiter.



La mer de glace est vouée à disparaître.

Un trésor archéologique englouti

Grotte ornée paléolithique située au large de Marseille, la grotte Cosquer fut découverte par le plongeur Henri Cosquer en 1985 et classée monument historique en 1991. Elle comprend 500 œuvres d'art pariétal datant de -33 000 et de -19 000 ans : représentations de chevaux, bisons et aurochs, mais aussi des représentations uniques d'animaux marins tels que des pingouins, des phoques et des méduses, des représentations humaines rares et 65 extraordinaires empreintes de mains.

Du fait de la montée des océans depuis la fin de la dernière glaciation, la grotte a été engloutie et son entrée est désormais à 37 mètres de profondeur. Aucune grotte ornée n'avait jusqu'à aujourd'hui été découverte au-dessous du niveau de la mer. La grotte Cosquer est donc un témoin du réchauffement climatique. Grâce à ce vestige, nous comprenons aisément la grandeur du phénomène de montée des mers qui s'est déroulé. Mais les peintures de la grotte sont condamnées à disparaître sous l'effet de la remontée actuelle des eaux.

Après deux ans et demi de travaux, menés notamment par des équipes ayant contribué à la réalisation de la grotte Chauvet 2 – Ardèche, une réplique de la grotte Cosquer ouvrira dès cette année à la Villa Méditerranée, à Marseille, à côté du MUCEM. Elle permettra aux visiteurs d'admirer ce trésor archéologique englouti et de prendre conscience de l'impact du phénomène de la montée des eaux.

©Kleber Rossillon



Les peintures exceptionnelles de la grotte Cosquer sont déjà partiellement englouties.

Qu'a fait l'homme lors des changements climatiques précédents ?

À la fin de la période glaciaire, l'homme a dû s'adapter à la montée du niveau marin mais surtout aux évolutions du climat. Et, en la matière, Homo sapiens fut particulièrement doué...

Nous sommes la seule espèce ayant réussi à coloniser presque tous les milieux habitables, nous adaptant à des milieux très différents et même extrêmes. *« Il faut cependant faire la part entre ce qui relève de contraintes physiques, environnementales, et la capacité des hommes à s'adapter, techniquement, biologiquement mais aussi culturellement »* rappelle Jean-Jacques Hublin, Professeur et directeur du Département d'Évolution Humaine à l'Institut Max Planck d'Anthropologie Evolutionnaire à Leipzig (Allemagne) et Professeur au Collège de France. Ce sont ces aptitudes culturelles qui auraient permis notre survie. *« L'atout d'Homo sapiens réside dans sa capacité à créer des réseaux de solidarité, familiaux au départ et planétaires aujourd'hui : c'est ce qui le distingue de toutes les espèces d'hommes antérieures. »* Contre 5 ou 6 espèces humaines qui peuplaient la Terre il y a 2 à 300 000 ans, avec des formes très différentes (tel le petit homme de Florès en Indonésie présent encore sur Terre il y a 50 000 ans), il ne reste plus qu'Homo sapiens.

Notre espèce est sortie d'Afrique, envahissant le territoire d'autres espèces (Néandertal en Eurasie, Dénisovien en Asie, Florès en Indonésie...) et colonisant même des zones de la planète où il n'y avait jamais eu d'Hominines (Australie, Amériques). Et cela s'inscrit dans le cadre d'une grande instabilité du climat : *« on a évolué de climats relativement chauds (avec un taux de gaz carbonique dans l'atmosphère pas très loin des 400 ppm que l'on craint tant aujourd'hui) avec des forêts denses tropicales en Europe et des éléphants »*, pour aller vers un refroidissement global depuis 7 millions d'années avec des alternances de périodes glaciaires et de déglaciation, notamment sur les derniers 100 000 ans.



La Provence, selon les époques, a connu des pingouins ou des éléphants.

La Terre a toujours connu une alternance de périodes glaciaires et de périodes tempérées (voire plus chaudes qu'aujourd'hui) dans les moyennes latitudes. C'est ainsi que les Iles Britanniques sont reliées au continent en période glaciaire et que la Manche se remplit d'eau en période interglaciaire. Au niveau des populations, l'influence de ces changements est grand. *« On sait par exemple que les Iles Britanniques furent désertées par les hommes au cours du dernier âge interglaciaire car la remontée des eaux fut si rapide que le repeuplement à partir du sud à la suite d'une phase froide n'a pas pu se faire. Donc il y a des espèces de mammifères, dont les hommes, qui manquent pendant des dizaines de milliers d'années sur ces îles. »* De vastes territoires sont abandonnés en période glaciaire, tandis que ceux qui sont peuplés le sont faiblement, et cela a une influence sur l'évolution biologique des hommes. On observe notamment une très faible variabilité génétique qui entraîne des modifications anatomiques.

« Le climat a bien sûr une influence directe sur la population humaine, celle-ci devant s'adapter biologiquement, techniquement, mais aussi culturellement. »

Jean-Jacques Hublin,
Professeur et directeur du Département d'Évolution Humaine à l'Institut Max Planck.

Homo sapiens aurait quitté l'Afrique à cause du climat

Dans les zones tropicales (d'où vient notre espèce), les cycles climatiques diffèrent un peu. *« On sait que, lors des périodes glaciaires, il y a une montée de l'aridité en Afrique. »* Mais de temps en temps naissent des épisodes de Sahara vert et d'Arabie verte, pendant lesquels la ligne de la mousson remonte jusqu'au Maghreb. Le Sahara se couvre alors de savanes, de rivières et de lacs, avec une faune de grands mammifères. *« On pense que ces phénomènes ont joué un rôle très important dans la sortie d'Afrique de notre espèce. »*

En effet, lorsque le Sahara n'était pas vert, les chasseurs-cueilleurs habitués à la savane partaient vers le nord (Arabie, Proche-Orient...), remplaçant les populations locales. *« L'étude des génomes nous montre que ces sorties d'Afrique seraient très anciennes. »*

En Israël, les traces les plus anciennes d'Homo sapiens moderne datent de 100 à 200 000 ans. En Europe orientale, c'est plus récent. On en trouve notamment en Bulgarie, sur le site de Bacho Kiro (fouillé par les équipes de Jean-Jacques Hublin), regroupant de l'outillage très varié du paléolithique supérieur initial qui vient remplacer celui du paléolithique moyen, ainsi que des restes humains datant de 46 à 43 000 ans. Même chose en République tchèque (environ -48 000 ans). Ces Homo sapiens ont-ils eu des contacts rapprochés avec les populations locales ? Les études ADN montrent que les 5 individus découverts à Bacho Kiro ont eu au moins un ancêtre néandertalien entre 5 et 10 générations avant l'époque où ils ont vécu, tandis qu'un individu retrouvé en République tchèque a de l'ADN néandertalien hérité de ses ancêtres du Proche-Orient et n'aurait pas eu de contact sur place avec des néandertaliens. *« On a l'impression de groupes pionniers qui se perdent dans le monde néandertalien avec des destinées très différentes d'un groupe à l'autre, parfois avec des contacts et parfois non. »* Mais les études paléogénétiques montrent que ces groupes du paléolithique supérieur ont été remplacés en Europe par d'autres Homo sapiens arrivés après : on ne retrouve en effet leurs lignées qu'en Extrême-Orient ou en Amérique.

Mais pourquoi Homo sapiens est-il allé si loin au nord ? Une étude sur la reconstruction paléolithique des températures, à partir des isotopes de l'oxygène présents dans des dents de chevaux et de grands bovidés (qui poussent en permanence) tués par des chasseurs du paléolithique, permet d'obtenir la température précise à l'époque où vivaient ces hommes. Elle montre qu'à Bacho Kiro, les températures moyennes avoisinaient les 0°C, avec des températures d'hiver et d'été bien plus froides qu'aujourd'hui dans les Balkans. *« Ce n'est donc pas un réchauffement climatique qui a amené Homo sapiens vers les plus hautes latitudes, mais plutôt sa capacité à s'adapter à des environnements différents, à créer des réseaux. »* Par exemple le site bulgare est le plus ancien où des objets de parure élaborés ont été découverts. *« On sait aujourd'hui que ce sont des marqueurs du statut social, de l'identité des groupes les uns par rapport aux autres : un trait propre aux Homo sapiens modernes. »*

Avant de quitter l'Afrique, les hommes avaient déjà développé ces comportements car de nombreux objets de parure ont été retrouvés sur divers sites africains, notamment au Maroc. Dans ce monde de complexité sociale, d'identité culturelle et de réseaux se développe l'art rupestre. On y observe des témoignages de récits, de croyances, de mythes (beaucoup d'êtres humains à têtes



Grâce à leurs capacités à s'adapter, les hommes ont survécu et se sont étendus géographiquement.

d'animaux, comme l'homme à la tête de lion d'Hohlenstein en Allemagne) qui rend les hommes solidaires, assure la cohésion du groupe. *« Croire en des choses qui n'existent pas réunit un réseau, tout comme la langue, la religion, etc. Les peintures de la grotte Cosquer s'inscrivent dans le développement de cette capacité culturelle. »*

À la même époque qu'en Europe, cet art rupestre se développe en Indonésie, avec par exemple des hommes à têtes et à queues d'animaux de plus de 43 000 ans dans les Célèbes. Les mêmes traces se retrouvent donc aux deux extrémités de l'ancien monde ! Ces croyances et comportements devaient par conséquent pré-exister à l'expansion d'Homo sapiens dans toute l'Eurasie.

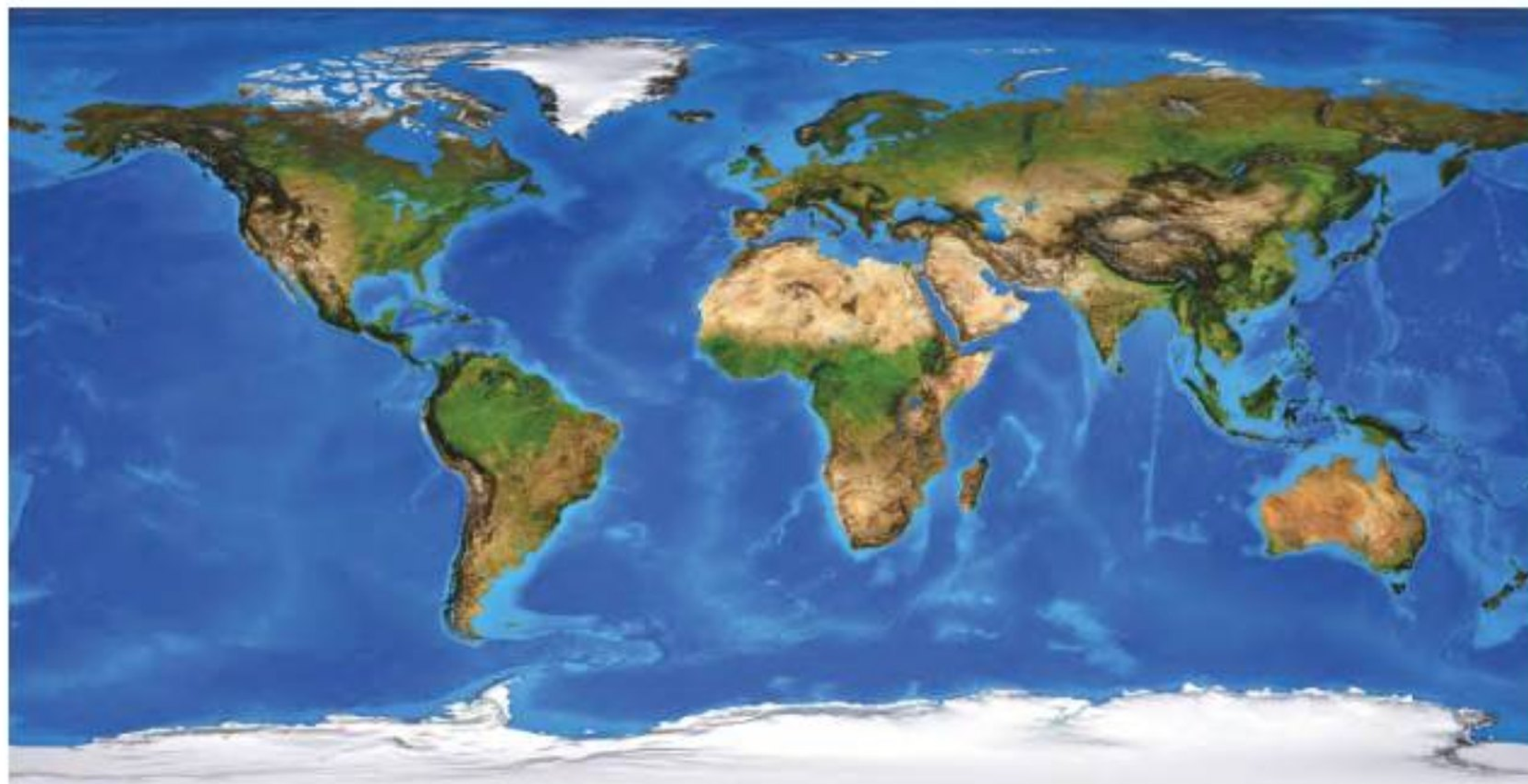
Donc les Hominines et leur évolution ont été très conditionnés par les évolutions du climat, de la géographie et du niveau marin, mais ils ont su se libérer progressivement de ces contraintes environnementales par leurs capacités à s'adapter, à développer une complexité technique, sociale et culturelle. Saurons-nous nous adapter tout aussi bien ?

Pouvait-on aller à pied en Amérique et en Australie ?

Malgré toutes les fluctuations du niveau marin, une zone a toujours été séparée du continent asiatique par une étendue océanique : on l'appelle la Wallacea et elle correspond en partie à l'Australie et à la Nouvelle-Guinée. Comment les hommes l'ont-ils colonisée ? Autour de 65 000 ans, le niveau marin était au plus bas et beaucoup d'hypothèses supposent que les hommes auraient traversé à cette période. Mais, dans tous les cas de figure, *« il y a forcément eu une navigation d'île en île et les hommes devaient maîtriser la navigation »* estime J-J.Hublin.

Et vers les Amériques, la fluctuation du niveau marin explique-t-elle leur passage ? Il y a 30 000 ans, des hommes vivaient déjà en Sibérie dans un milieu probablement très froid. J-J. Hublin pense que, même en cas de remontée du niveau marin, ces hommes auraient probablement été capables de traverser jusqu'au continent américain. Une fois arrivés, ils ont été longtemps bloqués en Alaska et au Yukon (des sites datent de 25 000 ans) à cause des glaciers (3 km de glace au-dessus de Montréal, 1,5 km au-dessus de Boston). Et, à la fin du dernier cycle glaciaire, ils ont pu se répandre vers le sud, le long de la côte tout d'abord.

L'archéologue préhistorien Michel Philippe (chercheur associé à l'UMR 7324



L'élévation ne sera pas la même partout sur la planète.

CITERES-LAT) explique combien il est difficile d'être renseigné sur les premières navigations. D'autant que l'art préhistorique n'étant pas une représentation de la vie quotidienne, on n'observe aucune représentation de bateaux. Mais l'existence de chasseurs-cueilleurs nomades côtiers est avérée. Et au bord d'un lac ou d'une mer, *« il ne peut pas ne pas y avoir d'attirance pour la côte située en face »* estime le chercheur. Pour traverser le détroit du Pas-de-Calais par exemple, les hommes connaissaient leurs capacités, maîtrisaient leurs techniques, savaient utiliser les courants et savaient où ils allaient sur les routes maritimes traditionnelles.

Datant de dizaines de milliers d'années après les traces des débuts de la navigation, des traces de « ports » sommaires extrêmement ténues et d'échouages ont été retrouvées. Quant aux épaves de la Préhistoire, elles ont forcément disparu, sauf celles en bois massif *(« c'est pour cela que la pirogue est le bateau le plus fréquemment cité pour la Préhistoire »).* Les embarcations composites ne sont pas reconnues sur un site car il n'en reste que des fagots et des arceaux. Les traces de pêche pélagique ne sont pas concluantes car il peut y avoir un piégeage à partir de la plage. Et, suite à la déglaciation, des milliers de kilomètres de littoral sont sous les eaux et quasiment toutes les installations préhistoriques sur ces côtes sont perdues. Restent donc des indices indirects...

L'homme de Florès, par exemple, prouve que des Homo archaïques se sont installés sur une île, il y a 700 000 ans. *« Mais c'était une navigation sans retour puisqu'il y a eu une dérive génétique : en effet, ces hommes ont évolué de leur côté sans échange avec ceux qui sont restés sur le continent asiatique »* note M.Philippe. Les hypothèses de navigation coutumière de ces Homo archaïques, faites en Asie du Sud-Est et en Méditerranée, estiment que toutes ces navigations se sont effectuées au maximum sur 30 à 50 km de bras de mer.

Il faut attendre le peuplement de l'Australie, vers -50 000 ans, pour que les hommes naviguent sur plus de 100 km, donc sans voir la côte en face. Ils sont partis sans savoir où ils allaient et, une fois installés, ils ont établi des routes maritimes pérennes (en se repérant avec les étoiles, les oiseaux, la couleur de l'eau qui change près du plateau continental ?). En Méditerranée, les bras de mer entre les îles ne dépassaient pas les 30 km, ce qui a permis entre autres le peuplement de Chypre.

Vers -35 000 ans, on retrouve également des indices de navigation coutumière dans l'arc Pacifique Ouest où les milliers d'îles de l'archipel japonais ont été progressivement occupées avec des échanges entre elles. Sur le continent américain, vers -16 000 ans, on peut imaginer aussi une colonisation maritime. Mais ce ne sont que des hypothèses...

Michel Philippe explique que les dates sont plus tardives en Europe : le fleuve Manche fut certainement le plus grand fleuve de ce continent, avec un immense delta au large de la Bretagne, mais toutes les terres autour ont été englouties. Des indices de navigation coutumière ont été retrouvés au nord.

En Norvège, les premiers indices de ces chasseurs-cueilleurs nomades maritimes ont été mis au jour, avec des installations extrêmement nombreuses mais fugaces : le paysage de fjords facilitait les déplacements en bateau plutôt qu'à pied.

En Méditerranée, les preuves résident dans la diffusion de l'obsidienne à partir des îles de la mer Égée (vers -9000 av. J.-C.), et la colonisation de Chypre avec plusieurs vagues d'introduction d'animaux. Les indices ? Des petits rongeurs arrivés cachés dans les cales n'ont pas eu le temps d'avoir de dérive génétique : or s'ils avaient été seuls sur l'île, cette dérive aurait été très rapide.

Enfin dans l'Atlantique, Guernesey, Ouessant, Belle-Île, etc. deviennent des îles il y a 8 000 ans et le matériel y évolue au même rythme que le matériel continental, preuve d'une navigation côtière évidente. De nombreux indices prouvent ensuite une navigation de plusieurs jours au Néolithique vers les Iles Britanniques : une grande traversée...

Le réchauffement climatique, principal responsable

La montée des eaux à laquelle nous sommes aujourd'hui confrontés n'a rien à voir avec celle qui suit une glaciation. Elle est extrêmement rapide. Selon les différents scénarios du GIEC, la situation sera plus ou moins catastrophique d'ici la fin du siècle. Mais l'homme en est-il responsable ? La réponse ne fait aujourd'hui plus beaucoup de doutes. La hausse actuelle du niveau des mers est une des conséquences du changement climatique actuel, lequel changement est lié aux émissions de gaz à effet de serre.

Anny Cazenave, chercheur au Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales, (Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse) rappelle que, sur des échelles de temps longues, la Terre devrait être en équilibre énergétique, soit envoyer vers l'espace autant d'énergie qu'elle en reçoit du Soleil. Or, depuis quelques décennies, ce n'est pas le cas. *« On observe que la Terre renvoie moins d'énergie vers l'espace qu'elle n'en reçoit. Elle est donc en déséquilibre énergétique et elle accumule de la chaleur. »* Et cela entraîne un certain nombre de conséquences.

La cause de ce déséquilibre énergétique est bien connue aujourd'hui : c'est l'accumulation



Le zéro émission sur la planète pour 2050 est bien improbable.

de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, principalement le dioxyde de carbone, liée aux activités humaines (combustibles fossiles, déforestation...). Cette accumulation piège le rayonnement infrarouge que la Terre émet vers l'espace.

De 1990 à 2019, l'augmentation a été de 60%. *« Heureusement pour nous, tout le CO_2 ne reste pas dans l'atmosphère : uniquement 44% des émissions anthropiques. »*

Ceci grâce à deux puits de carbone : d'une part la végétation terrestre qui absorbe à peu près 30% du CO_2, et d'autre part l'océan qui en absorbe de l'ordre de 25%. *« Mais avec un prix à payer puisque l'océan devient de plus en plus acide, avec des conséquences néfastes pour les écosystèmes marins. »*

Plus de 90% de la chaleur excédentaire, accumulée depuis des décennies suite au réchauffement anthropique, est stockée dans l'océan : l'océan se réchauffe donc et c'est une des causes de la montée du niveau des mers. Seulement 2% réchauffent les continents, 2% font fondre les glaces, et 2% réchauffent l'atmosphère (causant une élévation de la température moyenne à la surface de la Terre). Depuis 1850, cette augmentation de température a été de +1,2%, avec une croissance très nette surtout depuis le milieu des années 70. Les 10 dernières années ont été les plus chaudes jamais enregistrées. Rappelons que l'Accord de Paris sur le climat de 2015 prévoyait que nous ne devrions pas dépasser +1,5°C pour rester dans un climat vivable pour la biosphère, y compris les humains. Ce qui semble aujourd'hui bien difficile...

Ce réchauffement n'est pas homogène à la surface de la Terre : même si les océans stockent (en partie dans leurs profondeurs) 90% de la chaleur, *« les continents se réchauffent plus que les océans et l'hémisphère nord, en particulier la région arctique, se réchauffe beaucoup plus que le reste de la planète. »* Les glaces fondent : les glaciers de montagne, l'Antarctique et le Groenland. Si tout le Groenland fondait, la mer s'élèverait de +7 mètres, tandis que la partie instable de l'Antarctique de l'Ouest ferait s'élever les océans de +5 mètres.

Rappelons qu'au cours des derniers 1000 ans, l'élévation du niveau marin n'a jamais dépassé 0,6 mm/an. Mais on constate une augmentation plus forte depuis le début du 20e siècle.



Les îles basses, les deltas... seront les premiers engloutis.

Les côtes vont-elles devenir inhabitables ?

La montée des eaux ne dépend pas que de l'élévation du niveau marin. Les choses sont plus complexes, de nombreux autres facteurs agissent sur le niveau de la mer. Virginie Duvat, professeure de géographie à l'Université de la Rochelle et spécialiste des systèmes côtiers tropicaux, a participé aux 5e et 6e rapports du GIEC. Elle expose les différentes composantes du risque.

Tout d'abord les aléas représentent la première composante du risque. Ce sont les marées de tempête, les variations saisonnières, l'augmentation du débit des cours d'eau qui se déchargent dans la mer, les mouvements verticaux du sol, les perturbations anthropologiques locales, etc. On s'attend à une intensification des tempêtes (des cyclones tropicaux de catégorie 4 et 5, soit les plus extrêmes), et également des phénomènes pluvieux extrêmes qui chargent les fleuves et donc les mers. Les perturbations locales dues aux activités humaines augmentent toujours. La dégradation des écosystèmes est à la fois due aux activités humaines et au changement de climat. *« Par exemple, la modification de l'hydrodynamique locale entraîne la dégradation des écosystèmes côtiers amortisseurs de houle : coraux, mangroves... »*

Tous ces aléas se traduiront par la submersion marine et l'érosion côtière, d'où une salinisation des sols et des nappes d'eau souterraines. Les conséquences seront la perte des franges terrestres, des décès, etc. On a pu le voir en France lors de la tempête Xynthia en 2010.

La deuxième composante du risque est le degré d'exposition des habitations, des activités socio-économiques, aussi des écosystèmes. *« Aujourd'hui, 1 milliard de personnes vit dans des régions côtières exposées. »* Et l'urbanisation va croissant en bord de mer.

Enfin le troisième facteur à prendre en compte est la vulnérabilité, et donc la capacité à évoluer pour réduire les impacts. En France, les territoires les plus vulnérables sont bas, entourés d'eau, urbanisés par des constructions d'habitation de plain-pied. Des habitations sont construites derrière des systèmes de défense sous dimensionnés.

Des solutions pour se protéger



Tout le monde n'est pas prêt à construire sur pilotis...

Que peut-on faire pour réduire les risques côtiers ? Agir sur les trois composantes. Au niveau de l'aléa, il faut favoriser le développement d'écosystèmes ayant des capacités à capter les sédiments et ainsi gagner en altitude. Pour ce qui est de l'exposition, il s'agit de construire des ouvrages résistants pour empêcher la submersion marine ou relocaliser le bâti et les activités dans l'intérieur des terres. Et enfin, pour réduire la vulnérabilité, il faudrait construire des maisons sur pilotis ou à étage.

« Il existe donc un niveau de risque sans adaptation et avec adaptation ; si celle-ci est insuffisante face aux enjeux actuels, elle réduit cependant le risque » souligne Virginie Duvat. Toutefois, il y a des limites de différentes natures à l'adaptation (politiques, socioculturelles...) : les populations ne sont pas forcément disposées à se déplacer ou à vivre sur pilotis ! Quelles sont alors les solutions ? *« On peut bien sûr laisser faire, mais pas quand il y a des enjeux humains. »*

Comme mentionné ci-dessus, les solutions sont variées. On peut opter pour l'accommodation, c'est-à-dire rester sur place en s'adaptant et se protégeant (par exemple élever le bâti comme en Polynésie). On peut construire des digues, plus hautes et plus efficaces que celles de Louisiane qui n'ont pas tenu lors de l'ouragan Katrina en 2005, choisir la contre-attaque comme le font les Maldives avec des digues, un plan d'alerte précoce, une politique de gestion des zones côtières, etc. La relocalisation est une autre possibilité, mise en oeuvre notamment sur la côte Atlantique suite à la tempête Xynthia. Enfin il y a les solutions fondées sur la nature, comme la création d'écosystèmes pour l'amortissement des vagues et la protection par les sédiments, voire la construction de récifs artificiels : une gestion plus durable très regardée en milieu tropical. Cependant, il n'existe pas les mêmes niveaux de risques pour toutes les îles du Pacifique. La protection des récifs coralliens peut être efficace mais à un moment donné, vers 2040-50, ils seront en déclin. Il vaut donc mieux adopter la contre-attaque en édifiant des îles artificielles pour accueillir les populations.

« Il va falloir aller vers la combinaison de solutions, mais on a aujourd'hui très peu de retours d'expérience. » Des ouvrages durs peuvent supprimer les plages, des projets de relocalisation ont été difficiles, notamment leur acceptabilité sociale, leur gouvernabilité par les territoires, etc.

Oui, les espaces côtiers insulaires sont menacés dans une certaine mesure et l'incertitude est grande, notamment sur le plan humain. Mais on peut déployer des stratégies d'adaptation : *« on est entré dans l'ère de solutions. »*

Lafont presse

La passion d'informer

















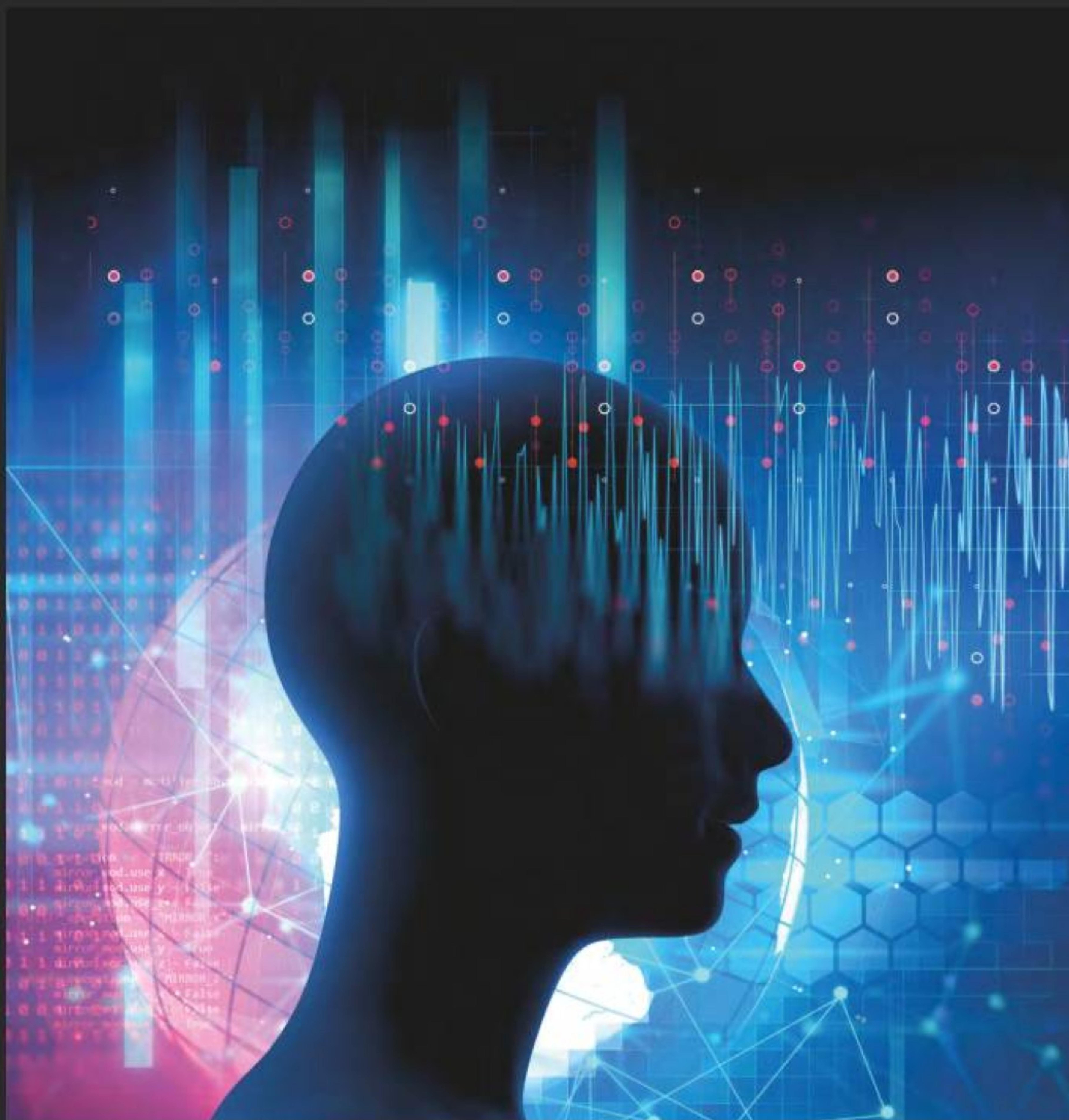
Entreprendre (*Lafont presse*), groupe côté sur *Euronext Paris.*

L'éditeur français, imprimé en France

Lafont presse TV

www.lafontpresse.fr

Cerveau : tout n'est-



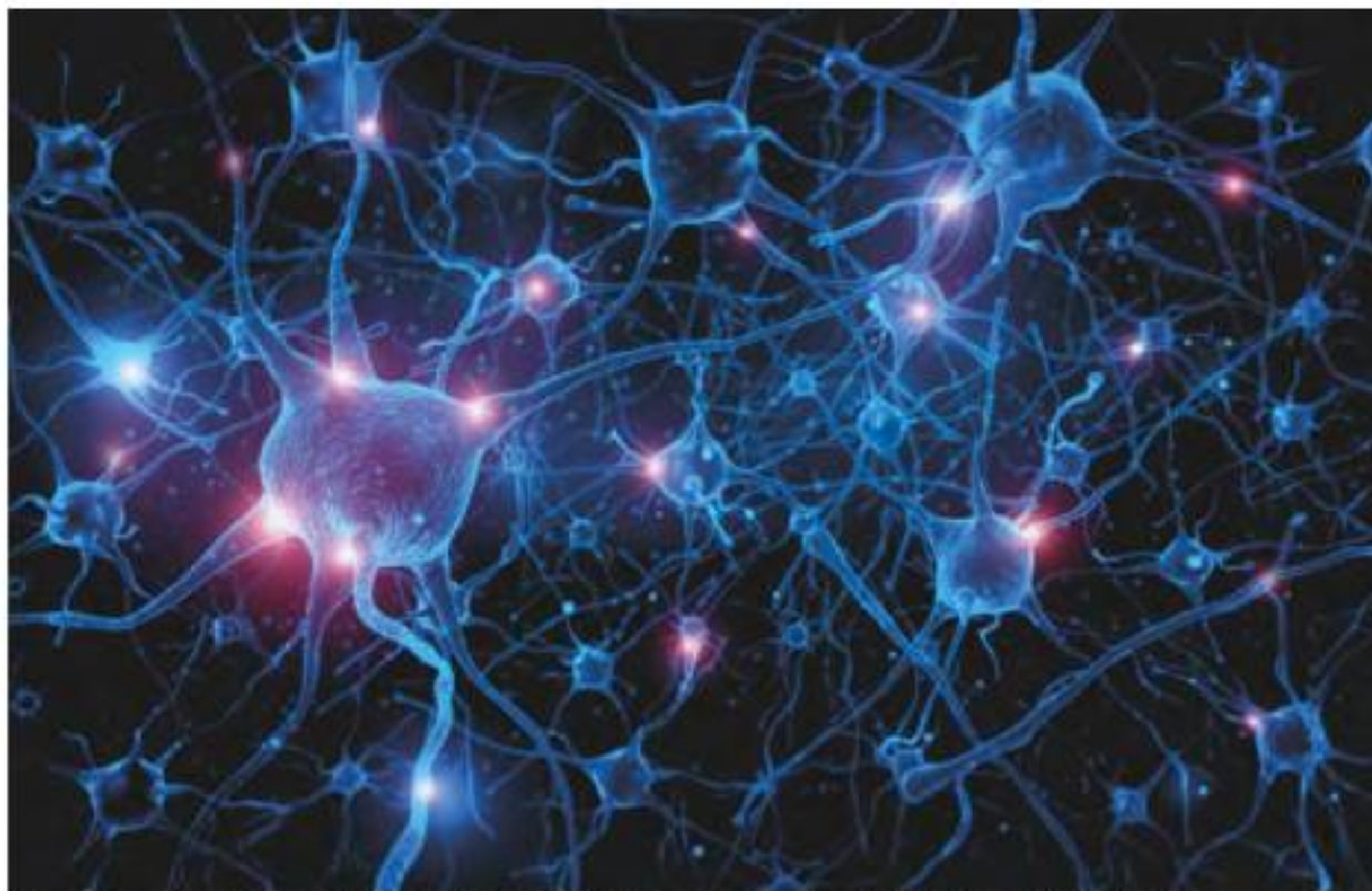
-il qu'illusion ?



Peu à peu, le cerveau révèle les mystères de son fonctionnement. Les dernières découvertes présentées ici portent sur les mécanismes de réparation du cerveau, naturels ou par thérapie génique. Et nous verrons aussi comment notre cerveau peut, soit nous donner confiance, soit nous tromper totalement. Cela montre combien la perception que nous avons de notre environnement peut s'éloigner de sa réalité physique !

Il est possible de régénérer les neurones perdus !

La mort de neurones est associée à de nombreuses pathologies du système nerveux central : car le cerveau n'est alors plus capable de les régénérer. On observe ce phénomène dans la maladie de Parkinson ou d'Alzheimer, suite aux AVC, et également dans certaines formes d'épilepsies.
Des chercheurs français savent aujourd'hui redonner vie à ces neurones perdus...



Certaines maladies détruisent les neurones. Des chercheurs sont parvenus à les recréer par reprogrammation cellulaire.

Le cerveau ne possède pas les capacités pour remplacer ses neurones endommagés ou perdus. Mais c'est l'objectif de la médecine régénérative. La reprogrammation cellulaire directe (par opposition à la reprogrammation en cellules souches pluripotentes induites) est apparue comme une stratégie innovante : elle consiste à « reprogrammer » l'identité de certaines cellules non-neuronales, présentes au sein même du cerveau malade, pour les transformer en neurones. Le défi est de taille !Les nouveaux neurones doivent s'intégrer parfaitement dans les réseaux de neurones survivants et prendre alors le relai des neurones qu'ils remplacent afin de corriger les troubles pathologiques.

Une équipe de chercheurs associant l'Inserm, le CNRS et l'Université de Lyon (à l'Institut Cellule Souche et Cerveau), en collaboration avec le King's College de Londres, est ainsi parvenue à transformer des cellules gliales du cerveau en nouveaux neurones. Ils ont utilisé pour leur étude un modèle animal atteint d'épilepsie mésio-temporale, la forme d'épilepsie pharmaco-résistante la plus fréquente chez l'Homme.

D'habitude, lors de la mort neuronale, les cellules gliales présentes dans l'environnement direct des neurones endommagés réagissent en se multipliant : mais cette réponse gliale ne résout pas le problème. Les chercheurs ont eu l'idée de tirer parti de cette prolifération en utilisant ces cellules gliales surnuméraires. Il a tout d'abord fallu identifier des gènes permettant de transformer ces cellules gliales en neurones inhibiteurs, dont la perte joue un rôle clé dans la survenue des crises épileptiques, pour pouvoir rétablir l'équilibre des activités neuronales qui a été impacté. Les scientifiques ont ainsi sélectionné des gènes connus pour être impliqués dans la genèse de ces neurones inhibiteurs durant le développement.

Puis ils ont forcé l'expression de ces gènes, et ainsi ont pu reprogrammer l'identité des cellules gliales pour en faire des neurones dits « neurones induits », aux propriétés comparables à ceux disparus dans la maladie. Les gènes ont été insérés directement dans le cerveau des animaux au niveau du foyer épileptique grâce à des vecteurs viraux désactivés induisant la reprogrammation des cellules gliales. En quelques semaines seulement, la grande majorité de ces cellules gliales ayant reçu les gènes s'étaient transformées en nouveaux neurones !

Effectivement, l'étude montre que les neurones induits adoptent une identité de neurones inhibiteurs, et ces derniers présentent un ensemble de caractéristiques moléculaires comparables à celles des neurones qui ont dégénéré dans l'épilepsie. Il s'agit bien de neurones fonctionnels, capables d'inhiber les neurones voisins responsables des crises et réduisant ainsi leur activité. Grâce à des traçages des connexions entre les neurones, les chercheurs ont pu déterminer que les neurones induits étaient pleinement intégrés dans le réseau épileptique, mais également plus largement dans le cerveau.

Le résultat : une réduction de moitié des crises épileptiques chez les animaux reprogrammés ! Le potentiel thérapeutique de cette stratégie de reprogrammation cellulaire est donc énorme. *« Une aubaine dans le cas précis de l'épilepsie mésio-temporale, alors que 30% des patients qui en sont atteints sont réfractaires aux traitements pharmacologiques »*, explique Christophe Heinrich, concepteur de l'étude. Même si la route est encore longue avant d'aboutir à une réelle transposition de ces recherches aux patients, cette étude offre un espoir pour combattre l'épilepsie mais aussi d'autres pathologies dévastatrices de notre cerveau.

Découverte d'un mode de communication inconnu

Si les neurones intéressent les chercheurs, ils étudient aussi de plus en plus le rôle d'autres types de cellules du système nerveux qui aident les neurones dans leurs tâches quotidiennes, notamment des cellules immunitaires. Des chercheurs français ont découvert un mode de communication entre eux jusqu'alors inconnu. Il pourrait être clé pour mieux comprendre les mécanismes de réparation du cerveau.

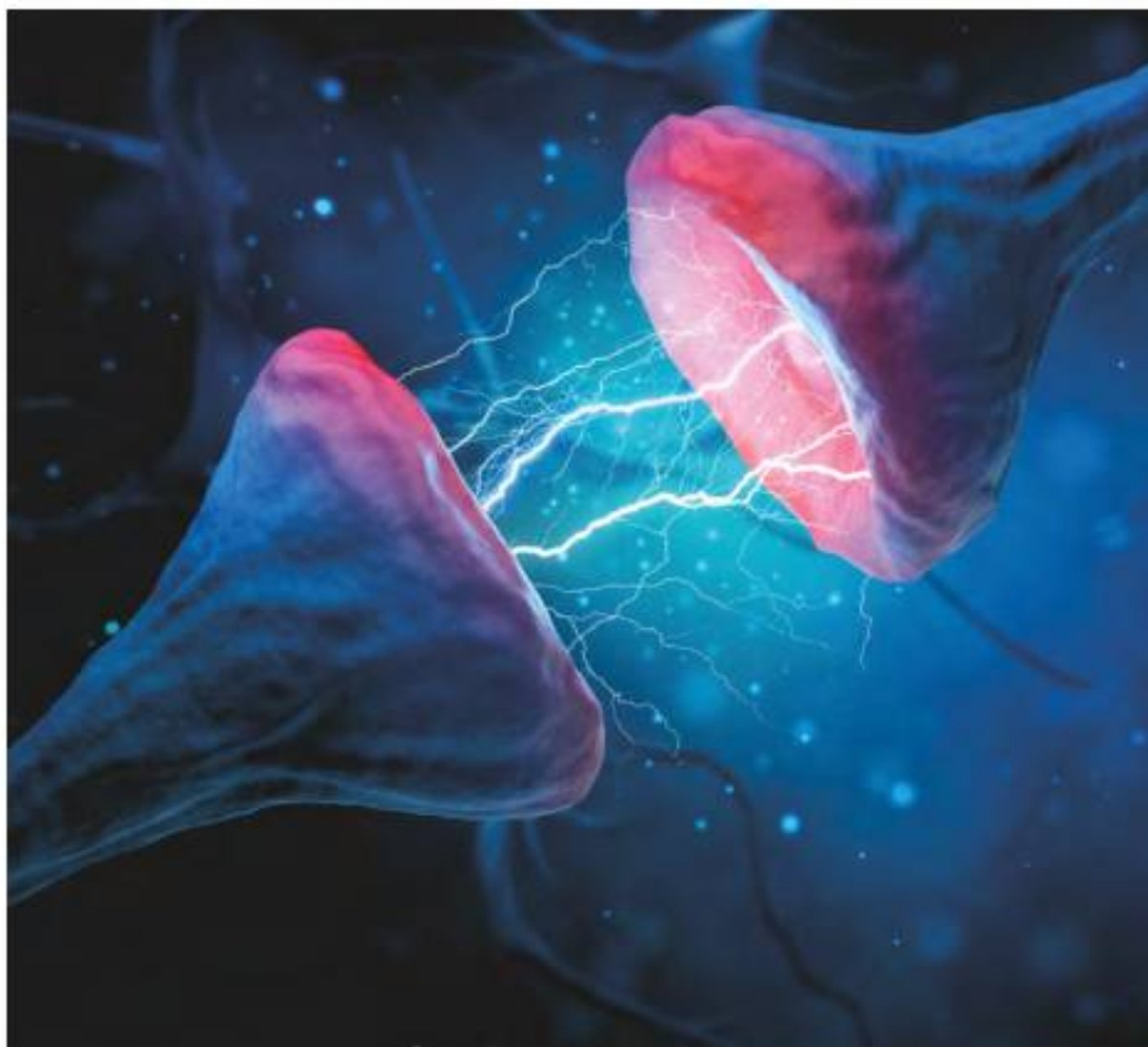
La transmission des messages nerveux se fait par le biais des prolongements des neurones, les axones, lesquels sont entourés d'une gaine isolante appelée myéline. Les noeuds de Ranvier, de petits domaines intercalés entre les segments de myéline, sont indispensables pour la diffusion rapide de l'information, mais ils représentent aussi une plaque tournante d'interactions cellulaires dans le cerveau.

Des études antérieures avaient montré que certains types de cellules du cerveau, comme les oligodendrocytes et les astrocytes, formaient des contacts avec les neurones au niveau de ces noeuds de Ranvier. Par contre, les interactions avec un autre type de cellules essentielles du cerveau, les microglies, n'avaient pas été explorées. Ces cellules immunitaires jouent pourtant un rôle clé de protection du cerveau et également dans des processus régénératifs (comme la remyélinisation, la reformation de la gaine de myéline, qui est atteinte dans des pathologies telles que la sclérose en plaques). Des scientifiques de l'Inserm, du CNRS, de l'AP-HP et de Sorbonne Université, regroupés au sein de l'Institut du Cerveau à l'hôpital Pitié-Salpêtrière AP-HP, montrent pour la première fois que des contacts et une communication existent entre les neurones et les cellules microgliales au niveau des noeuds de Ranvier.

Les chercheurs ont mené des études sur des modèles murins ex-vivo et in-vivo, mais également sur du tissu humain. Ils ont pu révéler une interaction particulièrement stable entre ces deux types de cellules, et un dialogue renforcé dans un contexte de régénération de la myéline. Ils ont aussi identifié les mécanismes sous-jacents à ce dialogue. C'est l'activité neuronale qui est le médiateur de cette interaction et la renforce. Les microglies sont en fait capables de « lire » l'information qui arrive au niveau des nœuds de Ranvier sous la forme de signal ionique, modulant ainsi leur état et leur interaction avec le neurone. Une altération de ce signal ionique peut maintenir les microglies dans un état pro-inflammatoire, et les empêcher alors de jouer leur rôle pro-régénératif et pro-remyélinisant.

Cette découverte ouvre plusieurs pistes de recherche pour mieux comprendre la sclérose en plaques, notamment celle de l'impact des signaux inflammatoires existant dans cette maladie sur le dialogue neurone-microglie et le potentiel pro-remyélinisant de la microglie. La révélation de ce dialogue est d'autant plus intéressante que des thérapies à l'essai dans la sclérose en plaques tentent justement aujourd'hui d'agir sur la physiologie de ces microglies pour favoriser leur caractère pro-régénératif.

Ce nouveau mode de communication découvert pose aussi la question de l'impact de l'activité neuronale sur le comportement des microglies. En effet, de nombreuses pathologies neurologiques, parmi lesquelles l'épilepsie, sont associées à des altérations de l'activité des neurones. Et les conséquences de cette altération sur les cellules microgliales sont encore à ce jour inconnues...



La communication au sein du cerveau demeure très complexe.

Un phénomène encore bien mystérieux

Dans un tout autre domaine, des scientifiques suisses des universités de Genève (UNIGE) et de Fribourg (UNIFR) explorent un phénomène mystérieux : notre cerveau se laisserait tromper par des vibrations...

Parmi nos cinq sens, le toucher est peut-être le moins étudié. Et pourtant, il est sollicité en permanence, d'autant plus depuis quelques années avec l'usage massif et quotidien d'objets technologiques émettant de nombreuses vibrations, perceptibles par la plupart des êtres vivants.

En effet, les objets en mouvement envoient des stimuli oscillatoires, lesquels se propagent à travers les matériaux solides. Notre corps les détecte au travers des récepteurs sensoriels situés sous la peau, puis il les transmet au cerveau pour analyse, comme il le fait pour les stimuli sonores, olfactifs ou encore visuels.

Rappelons que les vibrations sont des mouvements oscillatoires mécaniques émis à partir d'un point d'équilibre. Les ondes générées peuvent être définies selon deux critères principaux : la fréquence, qui mesure la rapidité du changement oscillatoire en Hz (Hertz, soit le nombre de répétitions par seconde), et l'amplitude, qui correspond à la hauteur maximale atteinte par l'onde, c'est-à-dire son intensité. *« Lorsqu'un téléphone vibre par exemple, cette vibration peut varier plus ou moins rapidement (c'est sa fréquence) et être plus ou moins forte (c'est son amplitude) »*, explique Daniel Huber, professeur au Département des neurosciences fondamentales de la Faculté de médecine de l'UNIGE, qui a dirigé ces travaux. Mais comment le cerveau interprète-t-il ces données physiques ?

En étudiant le ressenti aux vibrations de souris et d'êtres humains, les chercheurs ont découvert que le cerveau ne perçoit pas de manière fiable la fréquence d'une vibration lorsque son amplitude varie. Un phénomène d'illusion se crée alors, mettant en lumière à quel point la perception que nous avons du monde qui nous entoure peut s'éloigner de sa réalité physique !



De nombreux objets du quotidien émettent des vibrations. Comment le cerveau les analyse est une autre histoire...

Un groupe de souris et un groupe d'êtres humains ont été soumis à la même expérience, où il fallait distinguer les fréquences de vibrations ressenties sur la main ou sur la patte. *« Il s'avère que les souris sont plus sensibles aux fréquences élevées (environ 1000Hz), alors que la sensibilité humaine optimale se situe à des fréquences beaucoup plus basses, autour de 250Hz »*, remarque Mario Prsa, professeur au Département de médecine de l'UNIFR et premier auteur de cette étude. *« Cependant les souris comme les humains différencient plus difficilement une fréquence basse d'une fréquence haute lorsque leurs amplitudes ne sont pas égales. En effet, un choix spécifique de leurs amplitudes respectives peut créer un phénomène de constance perceptuelle. »* Cela signifie que des fréquences de vibration physiquement différentes sont ressenties comme identiques. *« Les deux espèces se laissent tromper par la même illusion de perception. C'est très étonnant ! »*.

Cette illusion suit en fait une loi assez simple : les fréquences supérieures ou inférieures à la fréquence préférée - 250 Hz pour les humains, 1000 Hz pour les souris - sont ressenties comme étant identiques à cette fréquence lorsque l'amplitude est élevée.

Une vibration de haute fréquence (500 Hz) nous paraît alors plus basse qu'elle ne l'est dans la réalité, tandis qu'une vibration inférieure à la fréquence de préférence (150 Hz) nous semble plus élevée. *« Soumis à cette illusion psychophysique, le cerveau perçoit mal en se recentrant sur ce qu'il connaît le mieux »*, explique Mario Prsa. *« Ce phénomène se retrouve d'ailleurs pour d'autres sens, par exemple l'audition, où notre propre perception, se laissant tromper par un volume très fort ou très faible, ne représente que rarement les paramètres physiques réels des stimuli, mais plutôt une interprétation de plusieurs caractéristiques combinées. »*

Comment et pourquoi cette illusion se crée-t-elle dans le cerveau ? C'est justement l'objet de la suite des travaux des chercheurs. *« A quel moment, exactement, le cerveau n'est-il plus capable d'interpréter correctement les stimuli tactiles, et que se passe-t-il au niveau neuronal ? »* indique Daniel Huber. *« Et pourquoi tout le monde, même les souris, réagit de la même manière ? »* L'équipe va encore plus loin dans cette thématique avec un sujet passionnant : avec l'aide de volontaires sourds et de musiciens, elle transpose des morceaux de musique en gammes vibratoires pour étudier comment les personnes sourdes perçoivent la musique.

Faut-il avoir confiance dans nos actes ?

Quand nous prenons une décision, nous pensons plus ou moins avoir raison. Quels sont les processus à l'œuvre dans notre cerveau pour réfléchir à ce que nous faisons et nous donner ou non confiance ?



Les chercheurs ont pu dissocier les signatures cérébrales associées à la perception et à la confiance.

Essentielle pour l'apprentissage et la communication, la métacognition est la capacité de réfléchir à nos propres pensées et processus mentaux. Un de ses aspects est la confiance dans nos décisions, ce sentiment étant une bonne prédiction de leurs exactitudes. Cela s'applique pour les décisions dites « perceptives » comme pour les décisions visuelles.

Selon les études comportementales, les processus cognitifs sont dissociables pour la perception et la confiance. Mais les études de neuro-imagerie ont jusqu'ici montré une correspondance frappante entre leurs processus cérébraux. A l'INSB (l'Institut National des Sciences Biologiques du CNRS), les scientifiques ont utilisé une tâche de prise de décision perceptive étendue dans le temps au cours de laquelle les participants humains ont tendance à prendre leur décision rapidement, tout en continuant à surveiller les évidences sensorielles pour évaluer leur confiance. Ils ont pu dissocier les signatures cérébrales associées à la perception et à la confiance dans une même tâche. Les résultats suggèrent que la confiance est évaluée tout au long de la prise de décision par des processus qui culminent dans les zones cérébrales d'ordre supérieur associées au comportement axé sur les objectifs.

Pour entrer dans les détails, alors que les corrélats neuronaux de la préparation de la réponse traduisent un engagement précoce dans les décisions perceptives, une représentation neuronale des évidences accumulées (située dans le cortex pariétal et le cortex orbitofrontal supérieur) continue de suivre les évidences sensorielles fournies par des stimuli supplémentaires et prédit la précision des jugements de confiance. Ce qui est compatible avec les théories récentes qui suggèrent que la confiance se nourrit d'un processus d'accumulation d'évidences culminant dans les régions cérébrales supra-modales associatives et guidant notre comportement.

Les chercheurs ont donc observé des signatures neurales de la confiance, non pas uniquement après que l'observateur se soit engagé à prendre une décision comme le suggéraient les théories précédentes, mais tout au long de la prise de décision perceptive. L'étude montre également que ces signatures neuronales de la confiance peuvent être recrutées séparément des signatures neuronales de la perception, d'où une dissociation théorique entre ces deux processus.

Ces résultats soulignent également que la confiance ne peut plus être considérée comme une lecture passive de la perception. Ils fournissent ainsi de nouvelles preuves que la confiance est un processus de contrôle actif qui façonne les décisions perceptives à la volée pendant qu'elles sont prises ; ce qui va au-delà des rôles classiques de la confiance dans l'apprentissage et la communication en l'absence de retour externe.

Thomas Pesquet : re images sur l'arrivée

© NASA



Le 8 novembre 2021, le vaisseau Crew Dragon Endeavour quittait la Station spatiale internationale avec à son bord l'astronaute français Thomas Pesquet et ses trois co-équipiers.

tour en sur Terre



Après avoir passé près de 200 jours dans la Station spatiale internationale et effectué 3 194 orbites terrestres, l'astronaute français Thomas Pesquet est revenu sur la planète Terre le 9 novembre dernier.
Retour sur les moments forts de ce voyage hors du commun...



© NASA/Aubrey Gemignani

Thomas Pesquet est rentré sur Terre !

Comme l'aller qui avait eu lieu 6 mois auparavant, ce retour s'est effectué à bord de la capsule Crew Dragon de SpaceX, dénommée Endeavour, qui était restée arrimée à la Station. Rappelons que Thomas Pesquet fut alors le premier européen à voyager à bord de ce véhicule commercial.

L'astronaute français est rentré aux côtés de l'astronaute japonais Aki Hoshide, et des astronautes américains Shane Kimbrough and Megan McArthur. Ils formaient l'équipage Crew-2, puisque c'était la seconde fois qu'une capsule Crew Dragon emmenait des astronautes pour un aller-retour Station-Terre.

Mais s'il avait fallu 23 heures pour se lancer depuis la Terre pour rejoindre l'ISS et s'y arrimer en douceur, le retour fut naturellement plus court. Car la chute est vertigineuse ! Après s'être détaché de manière autonome de la Station le 8 novembre à 19h05 GMT, le vaisseau Crew Dragon Endeavour s'en est éloigné doucement. Tout est cependant relatif : l'ISS et Endeavour évoluaient en effet à 28 000 km/h ! Il en a ensuite fait le tour pendant 2 heures et demie pour prendre des photos destinées à détecter des problèmes d'entretien éventuels. Puis, il a réalisé 6 orbites terrestres : l'occasion pour les 4 astronautes d'admirer une dernière fois notre planète bleue.

Une chute à 28 000 km/h et des accélérations de 4,5 g !

Enfin, la dernière phase du voyage a eu lieu. Le module de service non pressurisé fut largué : il a brûlé entièrement lors de sa rentrée atmosphérique. Les propulseurs ont été allumés pour mettre la capsule avec les 4 astronautes à son bord en position d'entrée dans l'atmosphère. Un freinage de plus d'un quart d'heure a permis de mettre Endeavour dans la bonne direction, au large de la côte de



© ESA/NASA

La capsule Crew Dragon Endeavour de SpaceX arrimée à l'ISS.
Le 8 novembre dernier, la capsule Endeavour qui avait amené 6 mois auparavant l'astronaute de l'ESA Thomas Pesquet, l'astronaute de la JAXA Aki Hoshide et les astronautes de la NASA Shane Kimbrough et Megan McArthur, s'apprêtait à quitter l'ISS.

© ESA/NASA



L'équipage Crew-2 prêt à rentrer à la maison
Quelques jours avant le départ, Aki Hoshide, Shane Kimbrough, Megan McArthur et Thomas Pesquet (de gauche à droite) vérifiaient leurs combinaisons spatiales pour préparer leur retour sur Terre. L'astronaute français a partagé cette photo sur les réseaux sociaux en commentant : « nous avons essayé nos combinaisons spatiales une dernière fois pour vérifier qu'elles nous allaient encore bien ! Il y a une légende urbaine disant qu'un astronaute qui a beaucoup travaillé sur l'ISS ne rentre plus dans sa combinaison ou dans son siège moulé à sa taille au retour... »

la Floride. Le cône de la capsule s'est fermé. Endeavour a pivoté pour orienter son bouclier thermique vers la Terre : c'est lui qui protège le vaisseau et ses passagers lors de la rentrée atmosphérique. A une vitesse si phénoménale, la friction est intense et la chaleur qu'elle génère est extrême : la température s'élève à 1 600°C, ce qui coupe les communications radio pendant plus de 5 minutes. Les astronautes doivent supporter des accélérations de 4,5g, soit environ 4,5 fois leur poids : *« ce n'est pas vraiment le meilleur moment de la mission ! »* a soulignéThomas Pesquet lors de la conférence de presse donnée à son arrivée au Centre européen des astronautes de l'ESA, à Cologne.

Puis, de petits parachutes de freinage se sont déployés à 5 700 kilomètres d'altitude. La vitesse est passée de 28 000 km/h à quelques km/h. Ensuite les 4 principaux parachutes se sont ouverts 3 minutes avant l'amerrissage, à 2 000 mètres d'altitude, permettant à la capsule de freiner plus efficacement pour éviter un impact terrible sur la planète. Les 4 astronautes ont amerri ainsi en relative douceur, à 25 km/h, le 9 novembre à 3h33 GMT. Le voyage de retour aura duré 8 heures et demie.

Sur place, la capsule fut récupérée rapidement par un bateau. Puis un hélicoptère a emmené les astronautes sur le continent. Thomas Pesquet a subi de rapides tests médicaux au Centre spatial de la Nasa à Houston, au Texas, avant de s'envoler pour Cologne, en Allemagne. Là, l'équipe de médecine spatiale de l'ESA l'a gardé en observation 3 semaines au sein d'Envihab, une structure du Centre européen des astronautes de l'ESA et du Centre aérospatial allemand, pour étudier sa réadaptation à la gravité terrestre.

Par exemple, après un séjour spatial, il faut éviter de trop bouger la tête, a expliqué l'astronaute français. Des mouvements comme s'asseoir, mettre ses chaussures, etc., peuvent générer des malaises.



© NASA/Kennedy Space Center

Endeavour fait ses adieux à la Station
Sur cette vue d'artiste, le vaisseau Crew Dragon se sépare de l'ISS.

© NASA/Aubrey Gemignani



Endeavour pénètre dans l'atmosphère
Au-dessus du Golfe du Mexique, on distingue la rentrée du vaisseau dans l'atmosphère. Dommage pour le spectateur que ce retour ait eu lieu de nuit… Mais des vents violents sur la zone d'amerrissage ont obligé à repousser l'arrivée de Crew-2, initialement prévu la veille à 12h GMT.

La mission de tous les records !



Amerrissage réussi !
Après bien des secousses et des craquements, Endeavour s'est posée sur l'océan le 9 novembre 2021 à 3h33 GMT, ramenant sains et saufs les 4 astronautes. L'amerrissage était une première pour un astronaute européen.

La mission Alpha, débutée le 24 avril dernier, s'est révélée particulièrement intense pour Thomas Pesquet qui a effectué au cours de ces plus de 6 mois 4 sorties extravéhiculaires (EVA), soit plus que prévu. Il a notamment installé de nouveaux panneaux solaires sur l'ISS et mis à niveau le système d'alimentation en électricité. Totalisant 39 heures et 54 minutes dans le vide spatial, l'astronaute français détient aujourd'hui le record européen du nombre d'heures passées en sortie extravéhiculaire (il avait effectué deux autres EVA lors de sa mission précédente). Il est devenu aussi, depuis le 4 octobre 2021, le quatrième européen et le premier Français à prendre le commandement de la Station spatiale internationale.

Dans l'ISS, il a contribué à plus de 200 activités de recherche spatiale, parmi lesquelles 40 expériences européennes et 12 nouvelles expériences dirigées par le CNES, l'agence spatiale française. Il a également assisté à l'arrivée et au départ de 7 véhicules, notamment le départ du module Pirs qui s'est détaché de l'ISS après 20 années de service, et l'arrivée du laboratoire russe Nauka qui a apporté le bras télémanipulateur européen ERA.

L'activité de recherche de l'astronaute français ne s'arrête pas avec son retour sur Terre. Il va continuer à travailler avec des chercheurs européens. Par exemple sur Acoustic Diagnostics, une expérience qui s'intéresse à

l'impact de l'environnement de la Station sur l'audition de l'équipage, sur TIME, qui étudie dans quelle mesure les astronautes jugent différemment le passage du temps dans l'espace et sur Terre, et aussi sur Grip et Grasp, deux expériences qui s'intéressent à la physiologie qui gouverne la coordination œil-main et au rôle que joue la pesanteur dans la régulation de la force de préhension. La qualité de la recherche menée au cours de la mission Alpha, à l'image de celle des précédentes missions, génère des découvertes utiles pour la future exploration spatiale humaine et robotique tout en contribuant à des développements technologiques sur Terre

Enfin, Thomas Pesquet a bien sûr pris des milliers de photos de la Terre, qu'il nous a fait partager sur les réseaux sociaux, et filmé des visites de la Station. Grâce à lui, la vie quotidienne d'un astronaute sur la Station spatiale n'a (presque) plus de secret pour nous ! Nous avons pu rêver que nous faisions partie de l'équipage et vivions un vol spatial...

Prochaine destination pour Thomas Pesquet : la Lune ? Les astronautes de l'ESA participeront en effet au prochain programme international Artemis consistant tout d'abord à mettre la station Gateway en orbite autour de notre satellite. Mais *« aller poser le pied sur la Lune, c'est ce qu'il y a de plus excitant »* a souligné l'astronaute français à Cologne. Souhaitons-lui de pouvoir participer à une telle mission.


© NASA/Aubrey Gemignani

Un vaisseau spatial sur un bateau
La capsule Crew Dragon Endeavour est rapidement récupérée par un bateau sur laquelle elle est hissée. Au contraire des missions Apollo, les astronautes n'ont pas à monter dans des bateaux pneumatiques sur une mer plus ou moins agitée.

© NASA/Aubrey Gemignani



Premiers moments sur Terre
Enfin sorti du vaisseau, Thomas Pesquet peut respirer les parfums terrestres, notamment « la bonne odeur de savon » des personnes qui l'accueillent. L'astronaute a déclaré avoir hâte de prendre une vraie douche, avec « des goutelettes d'eau qui tombent toutes dans le même sens ».

© ESA - P. Sebirot



Arrivée à Cologne
Thomas Pesquet a rejoint l'Allemagne dès le 9 novembre. Il y a subi des tests médicaux pour voir les effets sur l'humain d'un séjour de longue durée dans l'espace.

L'UNESCO dévoile ses nouvelles réserves de biosphère



© Rich Duncan

Au Canada, dans la réserve de biosphère de l'Átl'ka7tsem/baie Howe, vivent le grizzli, le carcajou et le pygargue à tête blanche.

20 nouvelles réserves, situées dans 21 pays, ont été choisies par le Programme sur l'Homme et la biosphère (MAB) de l'UNESCO qui fête ses 50 ans. Le Réseau mondial compte désormais 727 réserves, dont 22 sites transfrontaliers, dans 131 pays. Ces territoires, où se conjuguent conservation de la biodiversité, éducation environnementale et recherche et développement durable, couvrent désormais plus de 5% de la surface terrestre. L'ambition : atteindre 30% en 2030.

L'Arabie saoudite, le Lesotho et la Libye rejoignent ainsi le réseau MAB avec la désignation de leurs premiers sites : Juzur Farasan, Matšeng et Ashaafean. En Europe, la réserve de biosphère Mur-Drave-Danube, commune à 5 pays, devient le premier site cogéré par autant de pays. *« L'UNESCO accompagnera les pays pour réaliser l'objectif d'atteindre le seuil de 30% de zones protégées en 2030. Et cela commence ici, avec ces nouvelles réserves qui rejoignent le programme MAB »* a déclaré Audrey Azoulay, Directrice générale de l'UNESCO. *« L'éducation à l'environnement est également essentielle pour reconstruire notre relation avec la nature, de la petite enfance aux programmes de recherche sur la biodiversité, et l'UNESCO se mobilise pour que l'environnement devienne un élément clé des programmes scolaires, d'ici à 2025 »*, a-t-elle ajouté.

Education, recherche, sensibilisation... il s'agit d'encourager les pratiques innovantes en matière de développement durable et lutter contre le déclin de la biodiversité. Avec ces réserves qui couvrent tous les écosystèmes, tant en milieu urbain que rural, les communautés locales et autochtones et les États membres sont sensibilisés à la compréhension, la valorisation et la sauvegarde de l'environnement vivant. En plus de la faune et de la flore, les populations sont concernées par cette protection : lutte contre la pauvreté et les inégalités, santé, éducation, traitement de l'eau, énergie propre, croissance économique, villes durables, consommation responsable...

Premières nations et espèces rares en Amérique

Commençons notre tour d'horizon par l'Europe avec la réserve de biosphère Mur-Drave-Danube, qui est donc la première reliant 5w pays (Autriche, Croatie, Hongrie, Serbie, Slovénie). Elle englobe le réseau fluvial le plus vaste et le mieux préservé d'Europe centrale.

Elle vise à créer un modèle de coopération internationale pour la gestion des bassins fluviaux, tout en jetant des ponts entre les populations humaines et la nature. Environ 900 000 personnes vivent là, sur une superficie de 931 820 ha centrée sur le Danube et les affluents de la Mur et de la Drave, s'étendant des Alpes aux contreforts des Balkans en passant par le bassin des Carpates. Ce réseau fluvial unique offre des services écosystémiques essentiels et est indispensable à la pérennité d'habitats et d'espèces caractéristiques.

De l'autre côté de l'Atlantique, au Canada, la réserve de biosphère de l'Átl'ka7tsem/baie Howe est située à proximité de Vancouver. Elle englobe le fjord et les îles d'Átl'ka7tsem/Howe Sound sur une superficie de 218 723 ha, dont 16% sont des zones marines. Les écosystèmes montagneux côtiers de grande altitude influencés par l'Océan Pacifique accueillent une grande biodiversité, avec environ 721 espèces animales terrestres autochtones, parmi lesquelles le grizzli, le carcajou et le pygargue à tête blanche. On y trouve également des milliers d'espèces marines, notamment des récifs vivants d'éponges hexactinellides, dont on a longtemps pensé qu'ils avaient disparu il y a 40 millions d'années.


© Tim Turner

Les réserves de biosphère ont aussi pour but de préserver les populations et les cultures locales.

Átl'ka7tsem (prononcez At-Kat-soum) est le mot Sḵwx_wú7mesh/squamish pour désigner le fait de remonter la baie à la rame. Les membres des Premières Nations habitent cette région depuis des temps immémoriaux. La sylviculture durable et l'écotourisme représentent les principales activités économiques des 50 000 habitants de cette réserve. Après les effets dévastateurs sur l'environnement de la surpêche et de l'industrie lourde polluante, un tournant déterminant en faveur de la conservation et du développement responsable des ressources a été pris au milieu des années 1970. Après plus de 30 ans de

restauration, des signes prometteurs de reprise apparaissent. Les baleines, les dauphins et les saumons roses à bosse sont de retour, et l'estuaire constitue à nouveau un écosystème riche et productif : il est reconnu au niveau international comme une Zone importante pour la conservation des oiseaux.
En tant qu'intendants des terres et gardiens du savoir, les Premières nations sont des collaborateurs clés dans la création de la vision d'Átl'ka7tsem/baie Howe. Elles seront représentées auprès de l'organe directeur de la réserve de biosphère aux côtés de la société civile et des autorités locales.

Toujours sur le continent américain, citons la réserve de biosphère d'Avireri Vraem, dans le centre du Pérou. Elle s'étage sur des hauteurs comprises entre 280 m et 6 271 m, abritant 12 écosystèmes différents dans 3 écorégions : forêt amazonienne au pied des Andes, Yungas sur les pentes abruptes des montagnes avec des forêts de montagne et brumeuses, et région andine dans les hauteurs de la cordillère des Andes.

Sur plus de 4 millions d'hectares, elle abrite 257 espèces endémiques de faune, 307 espèces endémiques de flore menacées, et 115 espèces de faune figurant sur la liste rouge des espèces menacées de l'UICN. La population y parle 8 langues différentes. Le patrimoine culturel matériel et immatériel représente un élément déterminant de l'identité diversifiée de l'Avireri Vraem. « Avireri » est un héros mythologique ashaninka : il a contribué à façonner le monde en séparant le jour et la nuit, la saison sèche et la saison des pluies, tout en créant une musique pour chacun d'eux.

Il aurait également tenu tête aux envahisseurs en les transformant en rochers.

Montagne Pelée et Pays des étangs

En France, deux nouvelles réserves ont été créées. L'une, en Martinique, est la 12e réserve de biosphère située le long de l'arc volcanique des Caraïbes, l'un des 35 points chauds de la biodiversité mondiale. Sa richesse est unique : elle comprend de nombreuses espèces endémiques vivant dans des habitats rares et menacés. Elle couvre près de 5 millions ha, soit la totalité de l'île ainsi que sa zone économique exclusive marine. La géologie remarquable du site comprend le volcan actif de la montagne Pelée, haut de 1 397 mètres, des mornes endormis, et un littoral composé de baies et de criques. La forêt tropicale qui couvre les contreforts escarpés de l'île, et les mangroves qui bordent son littoral, témoignent de son rôle essentiel en tant que composante d'un corridor écologique entre les Amériques. 380 000 personnes vivent là et l'économie repose principalement sur l'agriculture, l'industrie agroalimentaire et le tourisme, avec un million de visiteurs par an.


© Fabien Lefebvre

La Martinique, l'un des points chauds de la biodiversité mondiale.

La seconde réserve est située dans l'Hexagone, en Moselle-Sud, entre les Ardennes et les Vosges. Cette réserve de biosphère rurale englobe la partie française des pentes montagneuses fertiles et des plaines dégagées de la vallée de la Moselle, qui s'est développée pour former un paysage culturel marqué par l'élevage bovin et ovin. Les forêts couvrent environ la moitié de la réserve, et les zones humides de l'ouest sont jalonnées d'innombrables étangs formés au fil des siècles pour drainer les pâturages et servir de retenues, notamment pour la pisciculture, dans une région connue sous le nom de « pays des étangs ». La vallée de la Moselle constitue un important carrefour d'Europe occidentale depuis le Moyen Âge. La réserve de biosphère doit devenir un centre d'agropastoralisme, d'écotourisme et de recherche environnementale.

Chez nos voisins italiens a été créée la réserve de biosphère du Monte Grappa, dans la ceinture préalpine de l'Italie orientale. Sur l'affleurement d'une faille, le paysage du Monte Grappa est composé de sommets enneigés et de prairies alpines typiques des

Dolomites ; il domine les écosystèmes plus vastes des plaines de la Vénétie et de la vallée du Pô. 25 municipalités se sont regroupées pour constituer la réserve, espérant attirer de nouveaux arrivants et contrer le dépeuplement progressif qui a commencé à la fin du 20e siècle en relançant les activités forestières et pastorales. Cette réserve est destinée à servir de laboratoire d'idées et de plateforme locale en faveur de l'économie verte et circulaire.

Quant à nos voisins espagnols, leur nouvelle réserve de biosphère Ribeira Sacra e Serras Do Oribio e Courel est située en Galice, à l'extrémité montagneuse du nord-ouest de la péninsule ibérique. C'est un site d'une grande beauté naturelle doté d'un riche patrimoine culturel. Le Miño serpente au fond des vertigineux canyons du Sil, dans un paysage de vallées, de dépressions tertiaires et de contreforts de maquis, d'où une diversité de microclimats. La réserve englobe désormais un géoparc mondial UNESCO et 6 sites Natura 2000. Elle constitue un refuge unique pour la biodiversité, abritant 1 214 espèces de flore vasculaire, soit 52,7% de la diversité floristique de la Galice, ainsi que 277 espèces de faune. Ce site représente l'extension la plus occidentale du corridor écologique formé par les réserves de biosphère des monts Cantabriques et les zones protégées de la côte atlantique européenne. Il est également célèbre en raison des Chemins de Saint-Jacques-de-Compostelle, inscrits sur la liste du patrimoine mondial de l'UNESCO en 1993. On y trouve aussi des grottes, des abris sous roche, des pétroglyphes, des mégalithes, des monastères, des églises, des établissements anciens, et des ponts qui témoignent de la grande richesse de la région.


© Fabien Lefebvre

De nombreuses espèces endémiques vivent dans des habitats rares et menacés.

Taïga sibérienne et Route de la soie

En Russie, ce ne sont pas moins de 3 réserves de biosphère qui ont été créées. Tout d'abord, celle de la dépression lacustre d'Uvs. Il s'agit du plus grand lac de Mongolie, d'une superficie de 335 000 ha, entouré par les contreforts semi-arides des montagnes de l'Altaï méridional. Avec un bassin plat et peu profond, c'est un lac salé naturel. La réserve de biosphère transfrontalière regroupe en fait une réserve russe et une réserve mongole désignées en 1997. Elle s'étend sur une vaste superficie de plus de 2 millions ha ; elle relie l'intégralité de deux biomes de la taïga sibérienne et des steppes mongoles. Ce site abrite des espèces emblématiques comme l'argali, le léopard des neiges, l'ibex de l'Altaï, ainsi que des oiseaux migrateurs.

Située face aux vastes étendues sibériennes au nord et bordée par les montagnes de l'Altaï au sud, la chaîne du Kouznetsky Alataou n'a presque pas évolué depuis la dernière période glaciaire. Une nouvelle réserve englobe des montagnes où se côtoient le sapin et le pin de Sibérie ainsi que des écosystèmes de toundra et de taïga où vivent le renne des forêts sibériennes, l'élan et l'ours brun. Loutres, visons, rats musqués et castors prospèrent sur les rives des rivières et des lacs. La réserve de biosphère de plus de 2,5 millions ha abrite le peuple chor. Dans ces montagnes reculées, chaque année plus de 100 000 touristes visitent les monuments, assistent à des rites traditionnels et font l'expérience de la cuisine locale.

Enfin, avec les méandres de la Volga à l'ouest et surplombant les steppes du Kazakhstan à l'est, la réserve de biosphère du mont Grand-Bogdo constitue un véritable carrefour de paysages et de cultures. Elle abrite 230 espèces d'oiseaux, tels le pélican frisé, la buse à longues pattes, plusieurs espèces d'aigles et de faucons, et elle se trouve sur les voies de migration de plusieurs espèces d'oiseaux protégées par la convention de Ramsar.

L'écosystème montagneux semi-aride abrite aussi 88 espèces de plantes vasculaires supérieures, 12 espèces de reptiles (notamment l'alsophyle de la Caspienne endémique), plus de 160 taxons d'insectes et 113 espèces d'arachnides, et également 46 espèces de mammifères, dont une population relique d'antilopes Saiga tatarica, des sangliers, des élans et des chevreuils.

Au centre de la réserve, le lac Baskountchak, connu dans toute la Russie pour sa production de sel, se détache du maquis environnant. De nombreux monuments archéologiques et culturels témoignent de la situation de la région sur la Route de la soie. Sa population clairsemée comprend des Russes, des Kazakhs, des Ukrainiens, des Tchétchènes, des Tatars, des Coréens, des Azerbaïdjanais et des Kalmouks ! Ils vivent principalement de l'agriculture et de l'élevage, entre autres de chevaux. Hormis la conservation de la nature et le tourisme, cette réserve servira de pôle pour la recherche sur l'utilisation médicinale traditionnelle des plantes et de l'argile.


© Yakov Oskanov

Au centre de la réserve de biosphère du mont Grand-Bogdo, le lac Baskountchak, connu dans toute la Russie pour sa production de sel.

Du léopard des neiges au Dugong dugon


© Saudi Heritage Preservation Society

Les îles Farasan, en Arabie Saoudite, abritent de la mangrove rouge menacée.

En Asie centrale, l'UNESCO a choisi un site au Kazakhstan, dans la partie nord de la chaîne montagneuse du Tianshan. La réserve de Kolsai Kolderi présente des paysages uniques de steppes qui s'élèvent jusqu'aux sommets glacés de la ceinture alpine, des canyons, des rivières et des lacs spectaculaires bordés de forêts de conifères et de feuillus. On y trouve de nombreuses espèces rares et menacées, notamment l'ours brun du Tianshan, le léopard des neiges et le lynx du Turkestan. Cette réserve de biosphère présente un énorme potentiel pour le tourisme durable, renforcé par sa proximité avec Almaty, centre financier, économique et culturel du Kazakhstan. L'objectif principal de cette réserve est d'en préserver les caractéristiques naturelles typiques, rares et uniques, et de soutenir un développement socio-économique durable.

Un autre site a été choisi en Ouzbékistan, dans la basse vallée de l'Amou-Daria, au sud-est de l'ancienne côte de la mer d'Aral. Ce site

représente l'une des plus grandes zones de forêts tugay naturelles en Asie centrale, un écosystème unique et généralement menacé. Il constitue un habitat d'importance pour la faune et la flore et il comprend la plus grande biodiversité des régions désertiques d'Asie centrale. C'est aussi le milieu naturel et protégé du cerf de Bactriane, espèce menacée.Le but est de notamment conserver et restaurer les paysages naturels, les espèces animales et végétales des forêts tugay, ainsi que d'autres éléments naturels caractéristiques des forêts ripariennes d'Asie centrale.

Au Moyen-Orient, c'est en Arabie Saoudite que vient d'être créée la réserve de biosphère des îles Farasan/Juzur Farasan. Cet archipel est situé à l'extrême sud-ouest du pays, près de la frontière yéménite. Cette zone associe des habitats marins et terrestres qui constituent un ensemble d'écosystèmes importants dans le sud de la mer Rouge. Les îles Farasan abritent des espèces rares et endémiques de flore et de faune qui font de cette première réserve du pays un site exceptionnel. Elle abrite notamment 3 des 13 peuplements recensés en Arabie saoudite de la mangrove rouge de Rhizophora mucronata (une espèce menacée), ainsi qu'une population relique de Dugong dugon (classée comme vulnérable sur la liste rouge de l'UICN), la plus grande population de gazelles Idmi du pays, et diverses espèces d'oiseaux marins (pélican gris en période de nidification, balbuzard pêcheur, pluvier crabier), d'espèces marines (diverses espèces de dauphins, baleines, tortues de mer à écailles, coraux et raies mantas) et de reptiles. L'isolement de ces îles a favorisé la préservation de nombreuses traditions agricoles ancestrales : terrasses artificielles, dispositifs d'irrigation traditionnels, puits peu profonds, etc.


© Farkhat Abdykairov

Le léopard des neiges, une espèce menacée protégée dans la nouvelle réserve de biosphère du Kazakhstan.

Le « Royaume dans le ciel »

L'Afrique comprend également beaucoup de territoires nécessitant une protection au niveau de la biosphère. En Libye, la réserve d'Ashaafean, située dans la partie nord-est des montagnes Nafusa, devient la première réserve de biosphère du pays. Sa région montagneuse biogéographique méditerranéenne présente une grande variété d'habitats : elle comprend des forêts sèches et des prairies steppiques au nord, ainsi que des zones méridionales hyperarides dans le désert du Sahara. Protégée par décret gouvernemental depuis 1978, l'aire centrale de la réserve abrite une variété d'espèces rares ou menacées, notamment des plantes médicinales et aromatiques ainsi que des espèces de faune inscrites sur la liste rouge de l'UICN : la hyène rayée, la tortue terrestre, l'outarde houbara, etc. Cette zone constitue une plateforme de recherche et de formation pour les étudiants travaillant sur la conservation de la biodiversité et le développement durable. La région est connue en particulier pour la qualité de ses olives et de son huile.

Première réserve de biosphère du Lesotho, le Matšeng se situe dans les hauts plateaux du nord du pays, parfois dénommé le « Royaume dans le ciel » en raison de la hauteur des monts Drakensberg-Maloti. Son écosystème naturel est peu perturbé, avec des niveaux élevés d'endémisme et des traits naturels saisissants, notamment les dernières forêts indigènes du Lesotho. Ce site est une zone d'oiseaux endémiques de haute priorité, avec des espèces comme le serin de Symons. Agriculture de subsistance et élevage (bovins, moutons et chèvres pour la laine et le mohair, chevaux pour le transport et ânes comme bêtes de somme) représentent les principales activités économiques de la région. La réserve va encourager une agriculture raisonnée et un écotourisme culturel et naturel d'autant plus attrayant que les panoramas montagneux sont impressionnants et que les sentiers sont propices à la randonnée et au trekking à dos de poney.


© MAB Team Lesotho

Au Lesotho, le « Royaume dans le ciel » a un écosystème naturel peu perturbé (ici l'aloès spirale).

Maeulsup et gudeuljangnon


© Luu Xuan Vinh

Au Viet Nam, dans la réserve de Nui Chua, vivent de nombreux groupes ethniques aux cultures diverses : Kinh, Cham, Raglai, Hoa, Tay, Nung, Muong...

Nous terminerons notre voyage par l'Extrême-Orient, où divers pays ont été choisis par l'UNESCO. Tout d'abord la République de Corée, avec la réserve de biosphère de l'Archipel de Wando. Situé à l'extrémité sud de la péninsule coréenne, cet archipel comprend 265 îles ; seulement 55 sont habitées par quelque 50 000 personnes qui accueillent 3 millions de visiteurs par an. Les zones marines représentent près de 90% de cette réserve. Des forêts tempérées chaudes de feuillus persistants couvrent les pentes des montagnes et s'étendent le long des côtes. Divers écosystèmes coexistent, notamment des marais salants, des habitats rocheux, des zones sablonneuses, des estrans, ainsi que des zones intertidales et sublittorales s'étendant jusqu'à la mer et qui abritent une faune marine tout aussi riche. Cette réserve de biosphère présente de magnifiques exemples de pratiques traditionnelles de gestion des terres, tels les maeulsup (forêts et bosquets villageois

qui protègent les habitants et les terres agricoles des vents violents) et les gudeuljangnon (rizières en terrasses). Les habitants reconnaissent volontiers que ces pratiques durables et un environnement sain octroient une valeur importante supplémentaire à la production de produits de la mer et au tourisme dans leur archipel.


© Luu Xuan Vinh

Le douc à pattes grises, un primate rare et endémique du Viet Nam.

En Malaisie, le mont Penang est l'une des destinations touristiques les plus populaires, attirant 1,6 million de visiteurs chaque année. La nouvelle réserve de biosphère est située sur l'île de Penang, point chaud mondial de biodiversité. Elle présente le seul lac méromictique du pays, dont la couche inférieure d'eau de mer est recouverte d'une couche d'eau douce : elle constitue donc un écosystème rare qui abrite des espèces aquatiques fragiles et menacées, comme le crapaud endémique Ansonia penangensis. La réserve de biosphère du mont Penang est une mosaïque de paysages (urbains, agricoles et naturels) ; elle comprend l'une des dernières forêts pluviales côtières de Malaisie, des forêts de diptérocarpacées côtières de plaine et de montagne, des mangroves, des zones humides, des plages de sable et des récifs coralliens. Ces différents habitats abritent une grande diversité florale et faunistique, notamment des espèces endémiques et menacées telles que le dauphin de l'Irrawaddy, le pangolin javanais et des oiseaux migrateurs. Ses plages sont des lieux de ponte habituels pour les tortues de mer, menacées d'extinction.
Au 19e siècle, le mont Penang a constitué une attraction touristique de premier plan, attirant les responsables coloniaux et les botanistes. Depuis leur création en 1884, des jardins botaniques abritent la flore et la faune du mont Penang et comptent plus de 2 400 espèces végétales, dont plus de 200 orchidées.

En Thaïlande, la réserve de biosphère de Doi Chiang Dao est située dans la province de Chiang Mai. C'est la seule région du pays dotée d'une végétation subalpine, que l'on trouve également dans l'Himalaya et dans la partie sud de la Chine. De nombreuses espèces rares, menacées ou vulnérables vivent dans cette réserve, comme le gibbon à mains blanches, le semnopithèque de Phayre, le goral chinois, le tigre ou la panthère nébuleuse. Le paysage regorge de grottes qui ont été formées par l'infiltration des eaux pluviales à travers les formations calcaires. La plus grande et la plus importante d'entre elles est la grotte de Chiang Dao. Elle est associée à la légende de Chao Luang Chiang Dao, le roi de tous les esprits, qui résiderait dans l'imposante montagne Doi Chiang Dao. La grotte et la montagne sont donc considérées comme des lieux sacrés et attirent chaque année de nombreux visiteurs. Un temple bouddhiste de style Lanna marque d'ailleurs l'entrée de la grotte. Un modèle de gestion de l'impact des visiteurs a été mis en place. Les autres attractions touristiques locales sont l'écotourisme, l'observation des oiseaux et des étoiles. Quant à l'agriculture, activité notable du site, elle s'appuie sur un système d'irrigation traditionnel par gravité dénommé maung fai : les pratiques et les connaissances locales ont été maintenues pendant près de 800 ans.

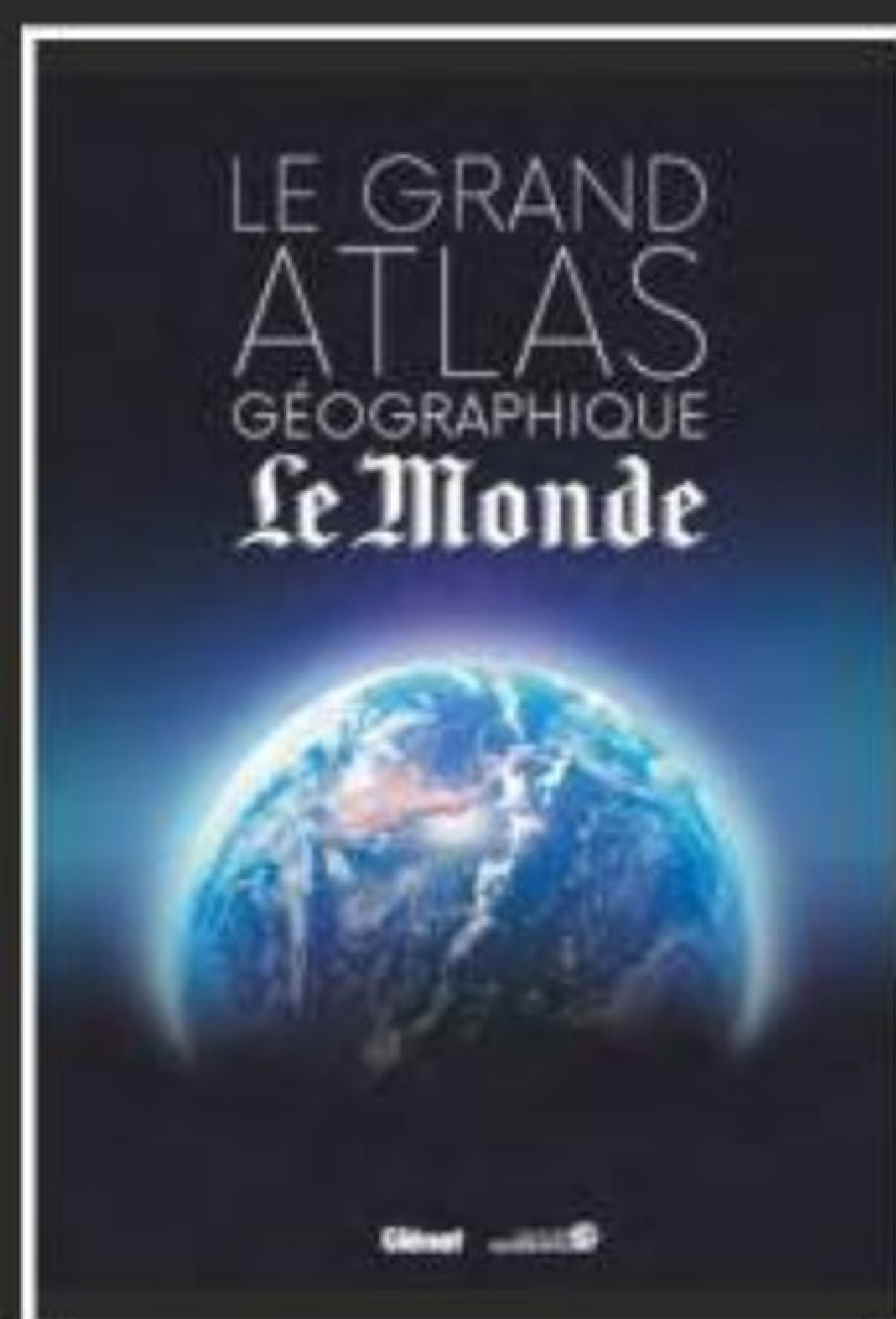
Et pour finir, partons pour le Viet Nam avec ses deux nouvelles réserves de biosphère. Celle de Nui Chua englobe les zones terrestres et marines de la province de Ninh Thuan et se situe à l'extrémité de la chaîne de montagnes Truong Son. Le climat y est rude, avec un temps ensoleillé, chaud et aride et des précipitations minimales. Cette réserve est une zone représentative en matière de biodiversité, avec une mosaïque riche et diverse d'écosystèmes caractéristiques de la région du Centre-Sud du Viet Nam : notamment une végétation semi-aride unique, des plages de nidification pour les tortues de mer et des récifs coralliens. Parmi la population totale, les principaux groupes ethniques Kinh, Cham, Raglai, Hoa, Tay, Nung et Muong ont tous des cultures diverses, des traditions artistiques, religieuses et architecturales ainsi que de nombreux rituels et grands festivals.

Quant à la réserve de Kon ha Nung, elle est située sur les hauts plateaux du centre du Viet Nam, le « toit de l'Indochine », dont le sommet culminant atteint plus de 1 700 m. Elle abrite cependant 267 493 habitants, mais également des espèces rares telles que le douc à pattes grises, un primate rare et endémique du Viet Nam classé comme étant en danger critique d'extinction, avec seulement 1 000 individus à l'état sauvage environ. La réserve est gérée dans le respect des savoirs traditionnels des communautés locales, y compris les savoirs autochtones et populaires sur la production et l'organisation sociale. Le comité populaire de la province formule des mesures concernant l'attribution de terres et de forêts aux ménages, le paiement des services écosystémiques forestiers et le développement d'un écotourisme durable.

LIVRES



LE GRAND ATLAS GÉOGRAPHIQUE DU MONDE



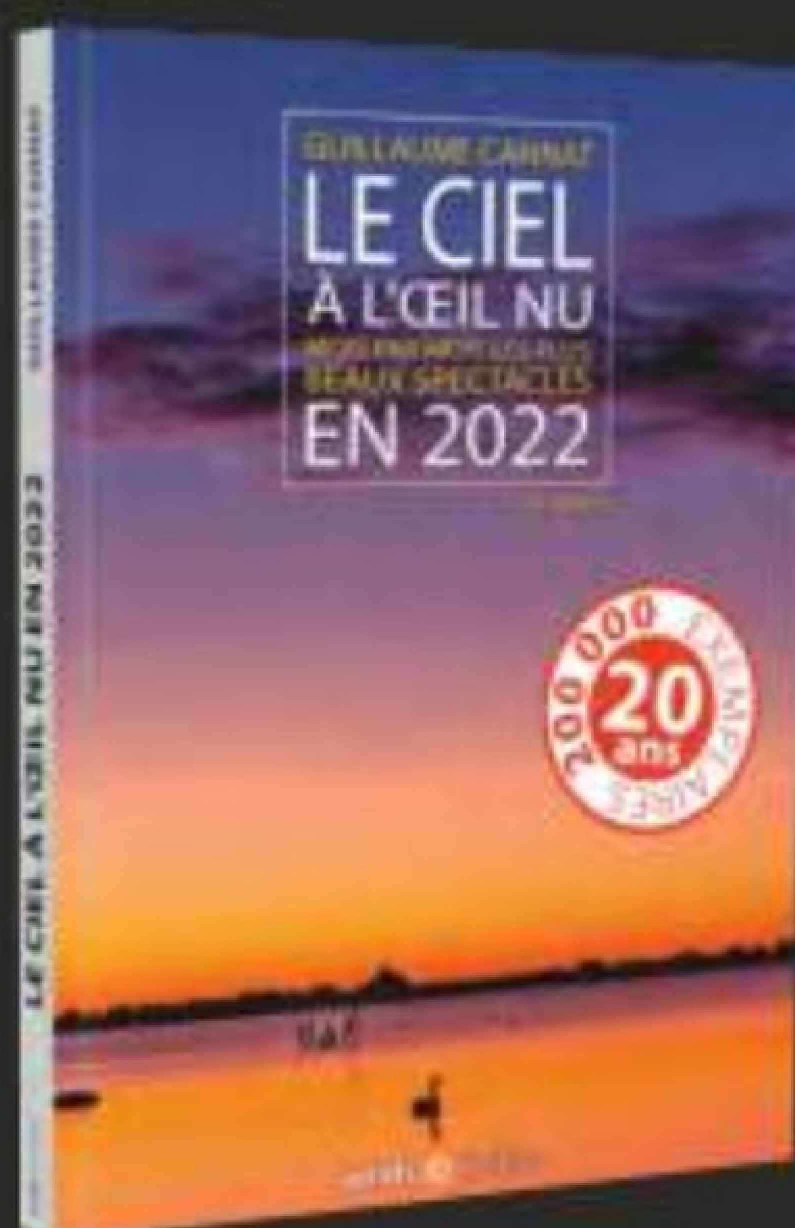
Ouvrage indispensable pour s'ouvrir au monde extérieur, cet atlas, vendu en France à plus de 100 000 exemplaires, a été conçu par les plus grands spécialistes internationaux de cartographie. Cette 4e édition rassemble 326 pages de cartes physiques et politiques, des cartes thématiques de la France (géologie, météorologie, économie, démographie…), 48 pages de photographies satellites de la Terre et de l'espace, un index répertoriant 120 000 noms de lieux, etc.

« Le grand atlas géographique du Monde » - Glénat/Libreria Geografica/Le Monde - 2021 480 pages - 49,95€



LE CIEL À L'ŒIL NU 2022

Ouvrage de référence des observateurs du ciel, ce livre présente mois par mois les plus beaux spectacles célestes de 2022. Pour sa 20e édition, son texte est entièrement inédit. Rempli de conseils, il est superbement



illustré de photographies de l'auteur et des meilleurs astrophotographes de la planète. Ne ratez donc pas cette année l'éclipse totale de Lune du 16 mai, l'éclipse partielle de Soleil le 25 octobre, etc.

« Le ciel à l'œil nu », par Guillaume Cannat - amds édition 2021 - 144 pages - 19,90€



FABULEUX INSECTES

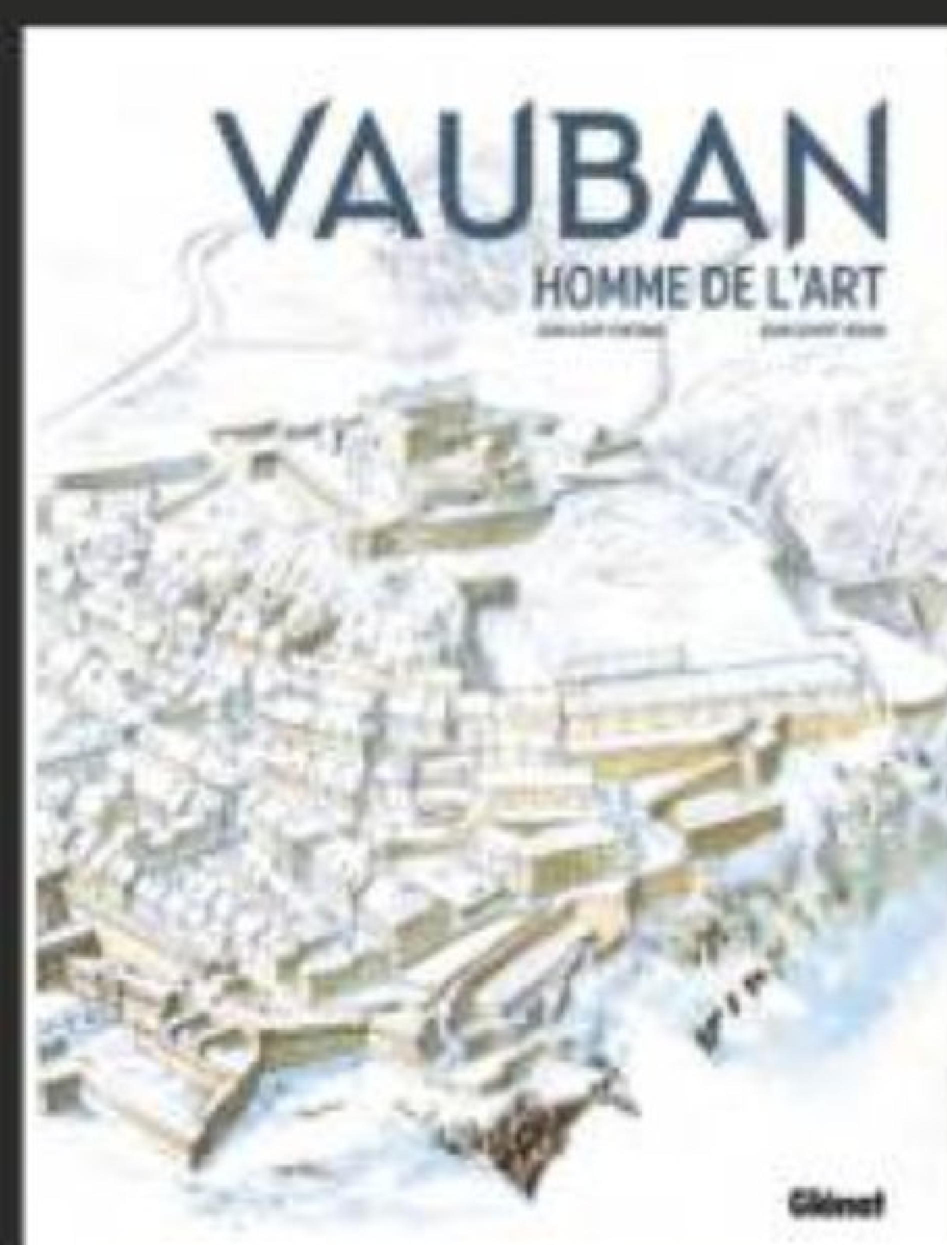


Ce livre superbement illustré rédigé par deux scientifiques propose un voyage dans l'histoire des sciences, la magie des cabinets naturalistes, l'entomologie de terrain et la poésie ! 50 insectes, tous remarquables pour diverses raisons (rareté, beauté, capacités d'adaptation, mœurs étonnantes…) sont présentés : comme par exemple la mouche Belgica antartica, le seul insecte connu qui vit en Antarctique.

« Fabuleux insectes », par Denis Richard et Pierre-Olivier Macquart - Delachaux et Niestlé - 2021 - 240 pages - 32€



VAUBAN, HOMME DE L'ART



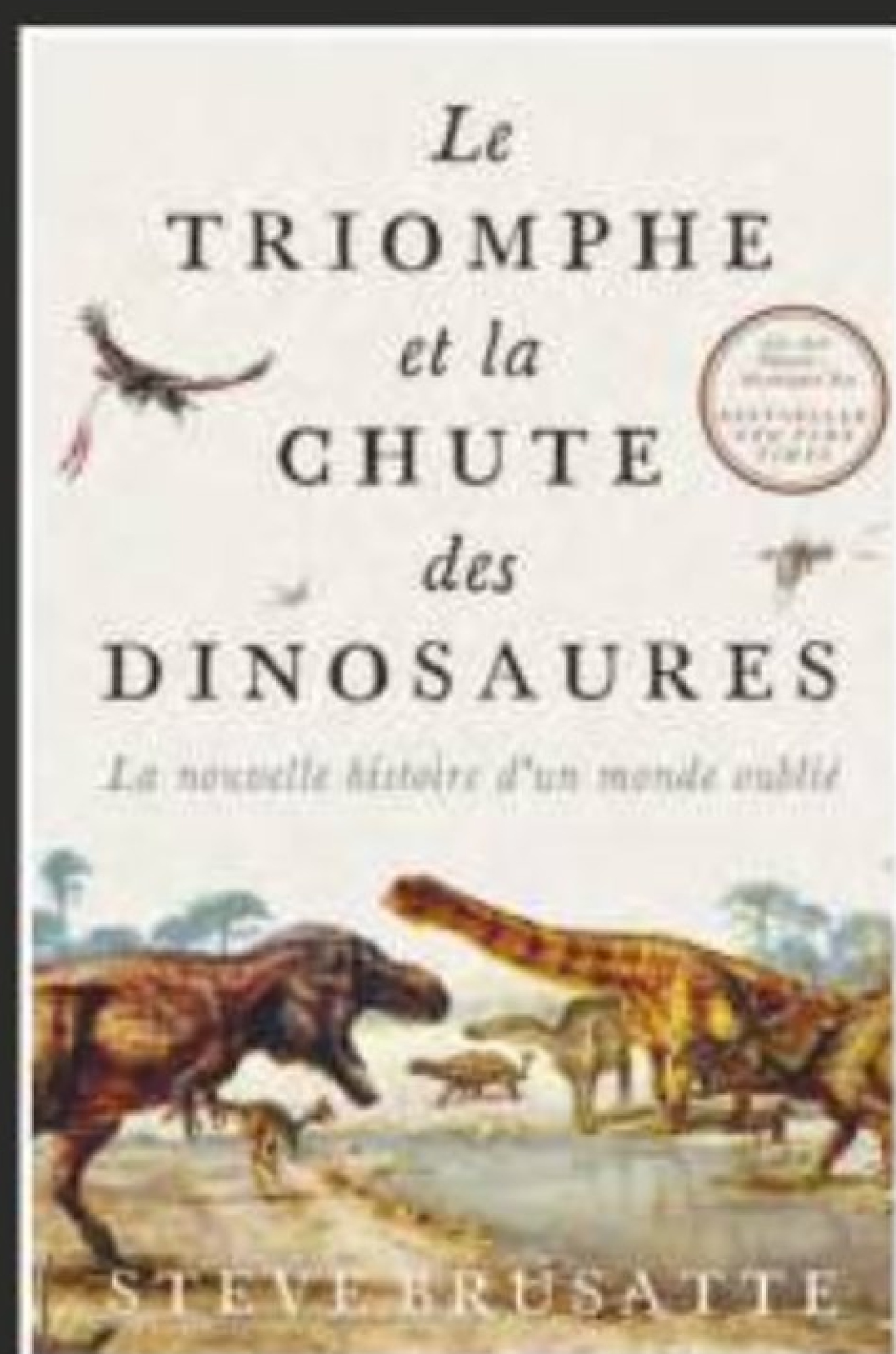
Pour la première fois, un ouvrage est consacré au patrimoine Vauban entièrement illustré. Son auteur, Jean-Loup Fontana, ancien conservateur du patrimoine des Alpes-Maritimes, apporte un éclairage nouveau sur cet homme de l'art, maître incontesté de l'architecture militaire. Citadelles, villes fortifiées, ouvrages isolés... ses plus remarquables réalisations sont présentées, notamment 12 sites majeurs classées au patrimoine mondial de l'Unesco.

« Vauban, homme de l'art », par Jean-Loup Fontana/Illustrations de Jean-Benoît Héron - Glénat 2021 - 144 pages - 35€

DÉCOUVERTES



LE TRIOMPHE ET LA CHUTE DES DINOSAURES

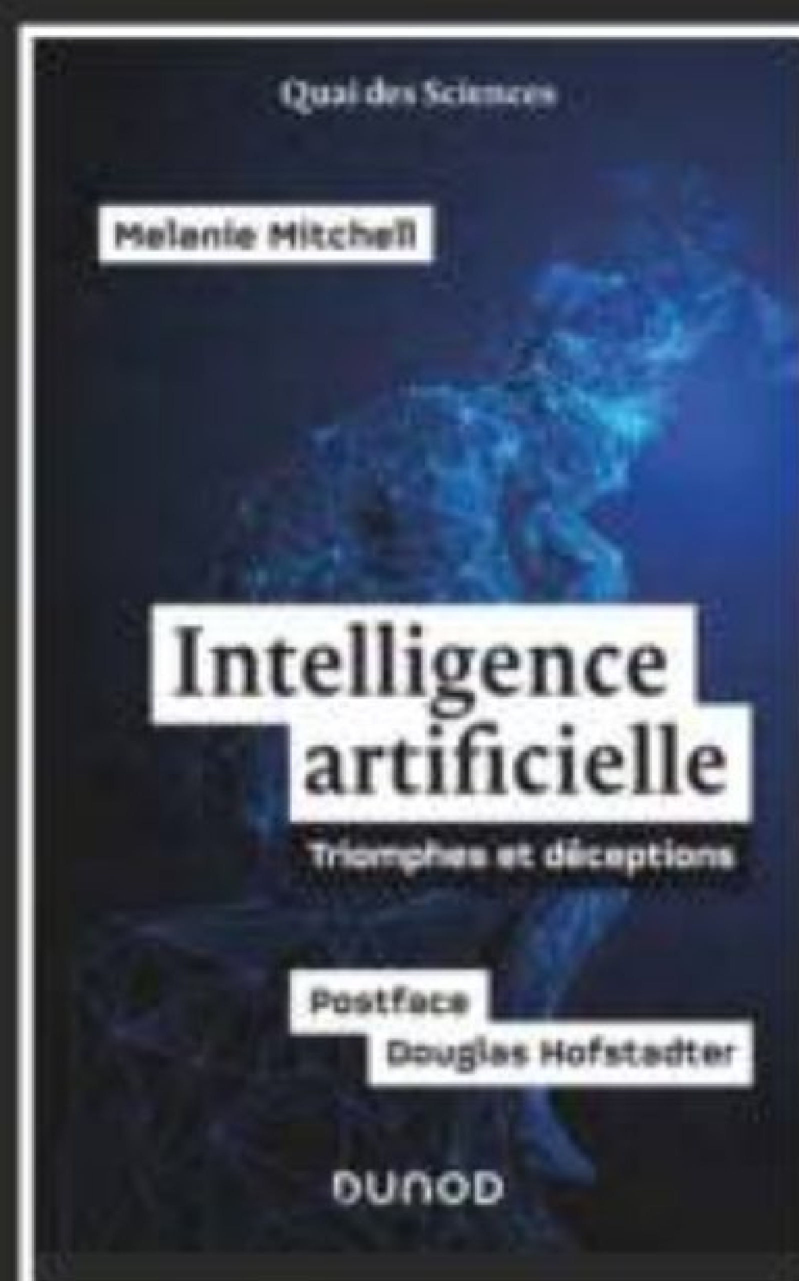


Ce best-seller mondial, écrit par le jeune paléontologue américain Steve Brusatte, est une ode au savoir joyeux (pour la génération *Jurassic Park*) tout autant qu'une référence scientifique solide et accessible à tous. L'auteur, passionnant et plein d'humour, nous emmène au Mésozoïque mais aussi avec lui sur le terrain. Un nouveau regard sur ces créatures redoutables, aux antipodes des échecs de l'évolution qu'on a longtemps crus.

« Le triomphe et la chute des dinosaures », par Steve Brusatte Quanto - 2021 - 356 pages - 22€



INTELLIGENCE ARTIFICIELLE : TRIOMPHES ET DÉCEPTIONS

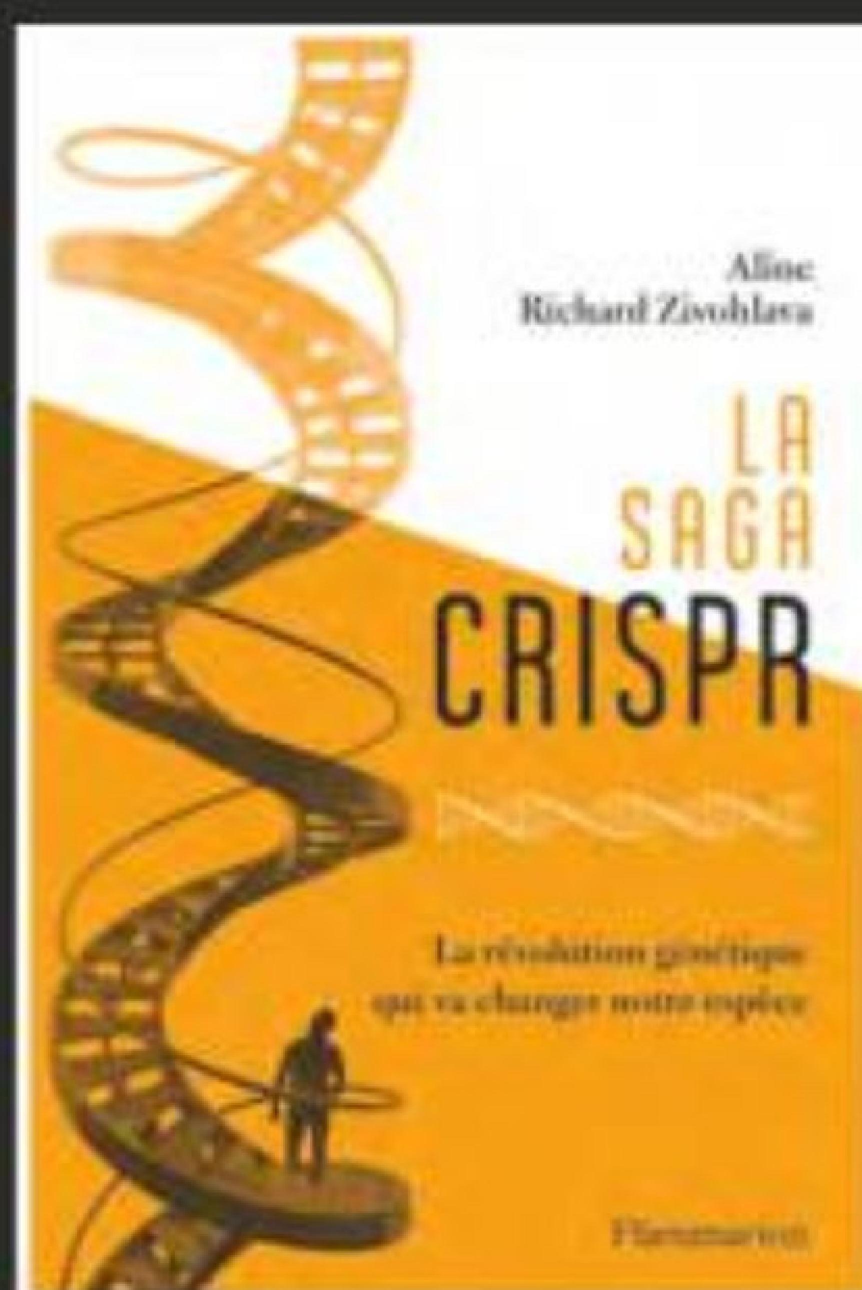


Connue internationalement pour ses recherches en intelligence artificielle et systèmes complexes et auteur d'un best-seller sur le sujet, Mélanie Mitchell propose ce guide indispensable pour comprendre l'IA d'aujourd'hui, sa quête d'intelligence « à l'échelle humaine », et son impact sur notre avenir. Elle se penche sur les questions les plus urgentes posées par l'IA telles que : quand devrons-nous nous inquiéter que ces programmes nous dépassent ?

« Intelligence artificielle : triomphes et déceptions », par Mélanie Mitchell Dunod - 2021 - 352 pages - 24,90€



LA SAGA CRISPR

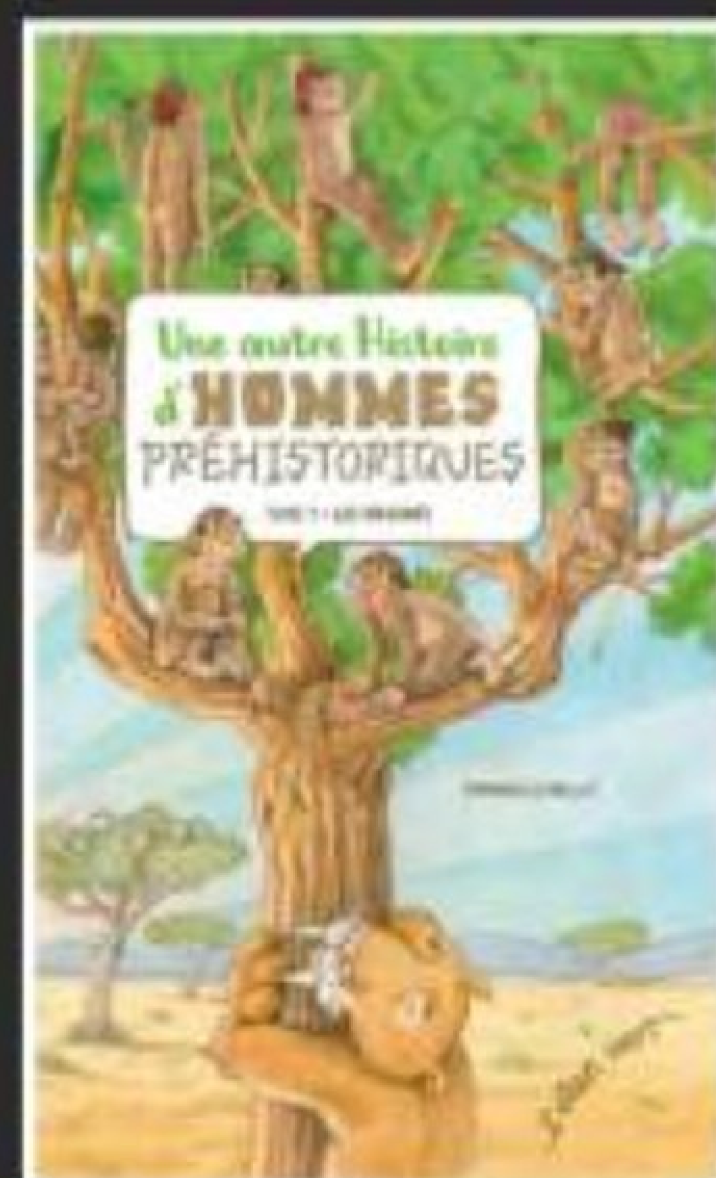


En novembre 2018 sont nés les premiers bébés génétiquement modifiés. Une nouvelle stupéfiante pour le monde, preuve que la science est capable de manipuler les gènes de n'importe quelle espèce et de rendre héréditaires ces modifications. Comment ? Grâce à « CRISPR-Cas9 », une véritable paire de ciseaux à ADN. L'auteur nous explique comment cette exceptionnelle découverte, nobelisée en 2020, va très bientôt changer nos vies...

« La saga CRISPR », par Aline Richard Zivohlava Flammarion - 2021 368 pages - 22,90€



UNE AUTRE HISTOIRE D'HOMMES PRÉHISTORIQUES



Réalisé en collaboration avec l'Inrap (l'Institut national de recherches archéologiques préventives), ce bel album documentaire, drôle et clair, aide les enfants à partir de 6 ans à mieux connaître nos ancêtres. Comment s'articule notre espèce avec celle des «grands singes» ? Pourquoi nos ancêtres sont-ils descendus des arbres ? Sur l'arbre généalogique de l'humanité, on retrouve l'australopithèque Lucy, *Homo habilis*, *Homo erectus* et bien d'autres...

« Une Autre Histoire d'Hommes Préhistoriques », par Emmanuelle Brillet Editions de l'Élan vert/Inrap 2021 - 64 pages - 15€

Science magazine donne la parole aux passionnés de science...



Bravo pour votre magnifique dossier sur l'Antarctique (Science Magazine n°72) ! Un continent blanc qu'il faut à tout prix préserver, sujet du pavillon France de l'Exposition universelle de Dubaï. Cependant, vous dîtes qu'il est dédié aux seules activités scientifiques, et pourtant le tourisme commence à s'y développer. Que fait-on à ce propos ?

Pedro F., Thizy (69)

Science magazine : Afin de stopper toutes prétentions territoriales, le traité sur l'Antarctique implique que ce continent soit réservé aux seules activités pacifiques, mais pas uniquement scientifiques. Même si la priorité est accordée à la recherche scientifique suite au Protocole de Madrid sur la protection de l'environnement en 1991. En tant qu'activité pacifique, il n'est donc pas question d'interdire le tourisme mais il va falloir l'encadrer.

A quel rythme les cellules de notre corps se renouvellent-elles ? Certaines sont-elles vraiment immortelles ?

Georges B., Chartres (28)

Science magazine : En fonction de l'organe ou du tissu où elles se trouvent, nos cellules ont des durées de vie très variables. Certaines sont en effet immortelles (au moins une partie du cortex cérébral, les cellules musculaires cardiaques, les cellules cancéreuses...). D'autres, comme celles de la peau, ne vivent que 2 ou 3 semaines avant d'être renouvelées. Un globule rouge vit environ 4 mois. Les cellules de la rétine ont une durée de vie très courte : 7 à 10 jours. Des cellules tapissant la surface de l'intestin ne tiennent même que quelques heures, contre 15 ans en moyenne pour les autres cellules intestinales. Chaque jour sont ainsi éliminées des dizaines de milliards de cellules !

A quoi correspond exactement le zéro absolu ?

Benjamin R., Evry-Courcouronnes (91)

Science magazine : Il s'agit de la température la plus basse qui puisse exister au monde. Il correspond au 0°K (kelvin), ce qui équivaut à -273,15°C. Comment le définit-on ? C'est la température à laquelle une substance ne contient plus, à l'échelle macroscopique, l'énergie thermique nécessaire à l'occupation de plusieurs niveaux énergétiques microscopiques : la matière se trouve à son point d'énergie interne minimale. Une température cependant impossible à atteindre : le record obtenu en 2003 au laboratoire de recherches du Massachusetts Institute of Technology (MIT) était de -273,14999999955 °C.

J'avais entendu parler de l'utilisation de la soie des fils d'araignée pour des nouveaux matériaux très résistants. Quelles sont les dernières nouvelles à ce sujet ?

Lucie M., Villeneuve-de-Marsan (40)

Science magazine : Bien plus résistante que l'acier (mais 6 fois plus légère) et que le kevlar (utilisé pour les gilets pare-balles), extensible de 30 à 40 % de sa longueur intitiale voire beaucoup plus, la soie d'araignée est promise à un grand avenir. Cependant, il est bien délicat d'élever des araignées (elles s'entre-dévorent notamment). Aussi les scientifiques tentent-ils plutôt de créer cette soie artificiellement. En 2018, un chercheur allemand est parvenu à en créer par génie génétique (en introduisant une partie du génome d'une araignée dans une bactérie).

Sait-on pourquoi les fleurs s'ouvrent le jour et se ferment la nuit ?

Chloé R., Landivisiau (29)

Science magazine : Contrairement à ce que l'on pourrait penser, cela n'est pas dû à l'ensoleillement puisque certaines fleurs font le contraire ! L'unique but est la reproduction. Le jour, les insectes ou le vent transportent les graines. La nuit, il faut protéger le pollen des prédateurs et du froid. Mais certaines fleurs ont des insectes pollinisateurs nocturnes (papillons de nuit...).

Lafont presse www.lafontpresse.fr

MAGAZINES, JOURNAUX, CARNETS, ENVELOPPES...

TOUT SAVOIR POUR NE PAS SE TROMPER DANS LE TRI DES PAPIERS

Vous êtes le premier acteur du recyclage grâce à votre geste de tri des papiers.
Tout savoir pour ne pas se tromper.

1. TOUS LES PAPIERS DU QUOTIDIEN SE RECYCLENT

Feuilles de papier, enveloppes, cahiers, journaux, magazines... sont parfaitement recyclables. Même avec des agrafes, spirales ou avec des éléments en plastique… Lors du recyclage, le papier est traité en plusieurs étapes de nettoyage et filtrage qui les éliminent.

2. ATTENTION, IL EXISTE DES FAUX-AMIS

Certains papiers portent le nom de papier mais ne se recyclent pas. Par exemple tous les papiers d'hygiène ou certains papiers cadeaux qui sont en plastique. D'autres « papiers » comme le papier photo ou le papier peint ont des traitements (plastification, résistance à la lumière, colle...) qui altèrent leur capacité de recyclage. Ils sont donc destinés au bac des ordures ménagères.



3. LES CONSIGNES DE TRI PEUVENT VARIER SELON LES COMMUNES

Vous l'aurez peut-être remarqué, on ne trie pas de la même façon partout en France, parfois tous les emballages et les papiers vont dans le même bac, parfois il faut les séparer. Peu importe le dispositif de collecte de nos papiers, ils sont traités pour être recyclés.



Pour bien trier, téléchargez l'appli Guide du tri ou rendez-vous sur le site triercestdonner.fr

CITEO

NOUVEAU



LA TÉLÉ DE LA SCIENCE À LA DEMANDE



MAIS AUSSI

HISTOIRE • SCIENCE • PATRIMOINE • ANIMAUX • NATURE • JARDINS • SANTÉ • BIEN-ÊTRE • PEOPLE • DÉCO • PSYCHO...

OFFRE DÉCOUVERTE

1ER MOIS OFFERT

Puis 4.99/mois

WWW.LAFONTPRESSE.TV



DES PROGRAMMES QUI VOUS INTÉRESSENT

• ILLIMITÉ • SANS ENGAGEMENT • SANS PUBLICITÉ

WWW.LAFONTPRESSE.TV

